

Université de Montréal

**Optimisation de recettes pour améliorer les apports
nutritionnels et diminuer les expositions aux métaux traces au
Nunavik**

Par

Tania Groleau

Département de sciences biologiques

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maître ès Science (M. Sc.)

en sciences biologiques, option recherche en biologie

Janvier 2024

© Tania Groleau, 2024

Université de Montréal
Département de sciences biologiques, Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé

Optimisation de recettes pour améliorer les apports nutritionnels et diminuer les expositions aux métaux traces au Nunavik

Présenté par

Tania Groleau

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes

Jean-François Lapierre

Président-rapporteur

Marc Amyot

Directeur

Mélanie Lemire

Codirectrice

Myriam Fillion

Membre du jury

Résumé

Au Nunavik, il est recommandé aux femmes inuites enceintes et allaitantes de consommer un bouillon à base de poisson, car cela favoriserait la croissance du bébé pendant la grossesse et l'allaitement. Cependant, celles-ci ont une demande nutritionnelle plus élevée et les carences en fer (Fe) et en calcium (Ca) sont fréquentes. De plus, certaines espèces de poissons peuvent être riches en métaux et métalloïdes potentiellement toxiques, tels que le mercure (Hg) et l'arsenic (As), mais peu est connu sur le transfert de ceux-ci vers le bouillon. Ce projet visait à optimiser le bouillon à base de poisson en mesurant les nutriments (potassium (K), Ca, magnésium (Mg), Fe, zinc (Zn), sélénium (Se)) et les métaux et les métalloïdes potentiellement toxiques (Hg, As, cadmium (Cd)) dans diverses espèces de poissons (omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), grand corégone (*Coregonus clupeaformis*), truite grise (*Salvelinus namaycush*), omble chevalier (*Salvelinus alpinus*)) et d'autres ingrédients comme les algues (*Alaria esculenta*), les moules (*Mytilus edulis*) et les myes (*Mya truncata*) qui peuvent être riches en Fe et en Ca et augmenter le contenu nutritionnel du bouillon. Nous avons aussi regardé l'utilisation d'un produit commercial, le Lucky Iron Fish (LIF)[®], pour augmenter la teneur en Fe du bouillon. Pour évaluer l'effet de la cuisson sur les concentrations dans les ingrédients et le transfert potentiel des nutriments, des métaux et des métalloïdes vers le bouillon, les tissus crus et cuits ainsi que les bouillons ont été comparés. Les analyses incluaient la spéciation du Hg et de l'As dans quelques ingrédients ainsi que la bioaccessibilité des nutriments et des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques dans les algues et les bivalves. La plupart des espèces de poissons étaient d'excellentes sources de K, Mg, Zn et Se, tandis que les algues et les bivalves étaient des sources excellentes de Ca, Mg et Zn et en Fe pour les bivalves. Le LIF était une source potentielle de Fe lorsqu'il était préconditionné dans de l'eau acidifié à un pH de 3,5 et qu'une femme enceinte consommait environ 20 tasses ou 5 L du bouillon en une journée pour avoir des apports similaires à ceux du manufacturier. Les concentrations en métaux et en métalloïdes pour la plupart des ingrédients étaient inférieures à la

valeur maximale recommandée pour les ingrédients commerciaux, à l'exception des grosses truites grises qui présentaient des concentrations élevées en Hg surtout dans les joues et les muscles. Cependant, de faibles concentrations en Hg ont été mesurées dans le bouillon de poisson. L'étude de la spéciation du Hg a révélé que les poissons contenaient plus de 90 % de méthylmercure, à l'exception de l'omble chevalier avec 80 %, alors que les autres ingrédients en contenaient moins de 50 %. Deux tissus d'algues crues et les bouillons des deux espèces de poisson (surtout la truite grise) présentaient des niveaux d'As supérieurs à la valeur recommandée. Les algues contenaient environ 40 % d'arsénosucres et 33 % d'arsénolipides et les bivalves contenaient moins de 20 % d'arsénosucres et 66 à 73 % d'arsénolipides. Les truites grises et leurs bouillons contenaient plus de 90 % d'arsénobétaïne. Les enzymes utilisées pour les tests de bioaccessibilité étaient riches en plusieurs métaux essentiels mesurés ; la bioaccessibilité de ces métaux n'a donc pas été quantifiée pour ceux-ci. La bioaccessibilité des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques chez les algues et les bivalves était de 100 % pour le Cd, de 40 % pour l'As total pour les algues et 100 % pour les bivalves, et a varié entre 25 et 50 % pour le Hg total (à l'exception de deux échantillons d'algues à 75 %). D'après nos résultats, tous les bouillons réalisés à partir des différentes espèces de poisson ainsi que leurs différentes parties sont sécuritaires à la consommation pour les femmes enceintes et allaitantes, hormis les muscles et les joues de grosses truites grises. Cependant, le bouillon fait avec de grosses truites grises peut être consommé. De plus, les algues et les bivalves sont d'excellents ingrédients à ajouter à la recette pour optimiser sa teneur en nutriments. Une recette optimale serait donc faite d'un poisson autre que la grosse truite grise, et des algues et des bivalves y seraient ajoutés et consommés en entier pour avoir l'apport nutritionnel de ses ingrédients.

Mots-clés : nutrition, métaux et métalloïdes, poissons, bivalves, algues, femmes enceintes et allaitantes, recette inuite, Nunavik

Abstract

In Nunavik, it is recommended to pregnant and breastfeeding Inuit women to consume fish-based broth because it is said to help the baby's growth during pregnancy and with lactation. However, these women have a higher nutritional demand and iron (Fe) and calcium (Ca) deficiencies are quite common. Additionally, some fish species can be high in potentially toxic metal(loid)s such mercury (Hg) and arsenic (As) and it is unknown to what extent these can transfer to the broth. This project aims to optimize the fish-based broth by measuring the nutrients (potassium (K), Ca, magnesium (Mg), Fe, zinc (Zn), selenium (Se)) and potentially toxic metal(loid)s (Hg, As, cadmium (Cd)) in various fish species (brook trout (*Salvelinus fontinalis*), lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*), lake trout (*Salvelinus namaycush*), Arctic char (*Salvelinus alpinus*)) and other ingredients like seaweed (*Alaria esculenta*), mussels (*Mytilus edulis*) and clams (*Mya truncata*) which can be rich in Fe and in Ca and increase the nutritional content of the broth. We also looked at the use of a commercial product, the Lucky Iron Fish (LIF)[®], to increase the Fe content of the broth. To investigate the effect of cooking on the concentration of various ingredients and the potential transfer of nutrients and metal(loid)s to the broth, raw and cooked tissues and their broth were compared. Analysis included Hg and As speciation in various ingredients as well as the bioaccessibility of the nutrients and potentially toxic metal(loid)s in seaweeds and bivalves. Most fish species were excellent sources of K, Mg, Zn and Se, while seaweeds and bivalves were excellent sources of Ca, Mg and Zn and Fe for bivalves. The LIF was a potential source of Fe when preconditioned in water acidified to a pH level of 3.5 and a pregnant woman consumed approximately 20 cups or 5 L of the broth in a day to have intakes similar to those of the manufacturer. Most ingredients had metal(loid) concentration below the maximum recommended value for commercial ingredients except for large lake trout which had high Hg concentration especially in the cheeks and the muscles. However, low concentrations of Hg were measured in the fish broth. Study of Hg speciation showed that fish contained more than 90% of methylmercury

except for Arctic char with 80%, while the other ingredients contained less than 50%. Two raw seaweed tissues and the broth of both fish species (especially lake trout) had As levels above the recommended value. Seaweeds contained roughly 40% arsenosugars and 33% arsenolipids and bivalves contained fewer than 20% arsenosugars and 66–73% arsenolipids. Lake trouts and their broths contained more than 90% arsenobetaine. The enzymes used for the bioaccessibility test were rich in several essential metals measured; bioaccessibility of these metals were therefore not quantified. Bioaccessibility of potentially toxic metal(loid)s in seaweeds and bivalves was 100% for Cd, 40% for total As for seaweeds and 100% for bivalves and varied between 25 and 50% for total Hg (with the exception of two seaweed samples at 75%). According to our results, all broths made from different species of fish as well as their different parts are safe for consumption by pregnant and breastfeeding women, except the muscles and cheeks of large lake trout. However, broth made with large lake trout can be consumed. Additionally, seaweeds and bivalves are excellent ingredients to add to the recipe to optimize its nutrient content. An optimal recipe would then be made with a fish other than large lake trout, and seaweed and bivalves will be added and consumed entirely to obtain the nutritional contribution of these ingredients.

Key words: nutrition, metal(loid), fish, bivalves, seaweeds, pregnant and breastfeeding women, Inuit recipe, Nunavik

Table des matières

<i>Résumé</i>	1
<i>Abstract</i>	3
<i>Liste des tableaux</i>	7
<i>Liste des figures</i>	8
<i>Liste des sigles et abréviations</i>	10
<i>Remerciement</i>	13
<i>Chapitre 1 : Introduction générale</i>	15
1.1 Contexte et organisation du mémoire	15
1.2 Alimentation traditionnelle	16
1.3 Nutriments d'intérêt et leurs carences	18
1.3.1 Le fer (Fe).....	18
1.3.2 Le calcium (Ca)	19
1.3.3 Le potassium (K), le magnésium (Mg) et le zinc (Zn).....	19
1.3.4 Le sélénium (Se).....	20
1.4 Contamination de métaux et métalloïdes potentiellement toxiques	21
1.4.1 Le mercure (Hg).....	21
1.4.2 L'arsenic (As)	22
1.4.3 Le cadmium (Cd).....	24
1.5 La bioaccessibilité	25
1.6 Ingrédients potentiels pour optimiser les recettes	25
1.6.1 Le poisson.....	26
1.6.2 Les algues	29
1.6.3 Les moules et les myes	30
1.6.4 Lucky Iron Fish (LIF).....	31
1.7 Implication des communautés inuites	31
1.8 Objectifs	32
<i>Chapitre 2 : Optimization of recipes to improve nutritional intake and reduce metal(loid) exposure among Inuit women in Nunavik</i>	36
Abstract	36
Introduction	37
Methods	41
Sampling methods.....	41
Cooking experiment methods	41
Laboratory analysis	43
Statistical and data analysis	45
Results and discussion.....	47
Concentration of nutrients in raw ingredients	47

Concentration of potentially toxic metal(loid) in raw ingredients	48
Effect of food preparation on the ingredients	52
Nutrient and metal(loid) concentrations in cooked broth	54
Ingredient contribution towards nutrient daily requirements	55
Bioaccessibility of elements in ingredients	60
Conclusion.....	61
Bibliography.....	63
Supplementary.....	70
Supplementary methods.....	70
Supplementary figures	72
Supplementary tables	82
<i>Chapitre 3 : Conclusions et perspectives.....</i>	87
3.1 Retour sur les objectifs.....	87
3.1.1 Les nutriments dans les ingrédients de la recette	87
3.1.2 Les métaux et métalloïdes dans les ingrédients	89
3.1.3 La bioaccessibilité.....	91
3.2 Perspectives de l'étude	92
<i>Bibliographie.....</i>	95

Liste des tableaux

Tableau 1. Revue de littérature sur les concentrations de nutriments et de contaminants ($\mu\text{g/g}$ poids humide (ph)) des ingrédients potentiels venant du Nunavik, du Nunavut ou de la Norvège (pour les algues).	28
Table 2. Mean values \pm standard deviations for the percentage towards daily intake (%) of various nutrients in pregnant women for the different ingredient's tissues and their broths not filtered (NF) and filtered (F) with a $0.45 \mu\text{m}$ filter. Contributions were calculated using either 100 g (1) or 250 g (2) for the tissues and a 250 mL glass for the broth.	58
Supplementary Table 1. Location and year each ingredient (latin name / Inuktitut) was collected.....	82
Supplementary Table 2. Summary of methods for cooking experiments.....	82
Supplementary Table 3. Mean percentages \pm standard deviations of the certified material recovery rate (%) for the elements and the sample size (n).....	83
Supplementary Table 4. Mercury speciation for raw tissue and cooked broth.....	84
Supplementary Table 5. Arsenic speciation for raw tissue and cooked fish broth. (1) non-toxic form, (2) toxic form and (3) unknown.....	85
Supplementary Table 6. Mean values \pm standard deviations for Hazard Quotient (HQ) for the different ingredient's tissues and their broths not filtered (NF) and filtered (F) with a $0.45 \mu\text{m}$ filter. HQ were calculated using the Probable Tolerable Dietary Intake (pTDI) for pregnant women. When $\text{HQ} < 1$, there is no health risk.	86

Liste des figures

Figure 1. Concentrations of nutrients in various raw and cooked tissues ($\mu\text{g/g ww}$) boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means within each ingredient group.....	48
Figure 2. Concentrations of toxic metal(loid)s in various raw and cooked tissues ($\mu\text{g/g ww}$). Different letters represent significantly different means within each ingredient group. The recommended limits represent the maximum reference value recommended by the Canadian government (or European for Cd) for the various commercial tissues.....	49
Figure 3. Mass of Fe in a 250 mL cup released by the LIF when cooked for 2 hours with different pH levels.....	60
Supplementary Figure 1. Concentration of nutrients ($\mu\text{g/g ww}$) in the tap water before adding ingredients and in the cooked broth for various ingredients boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means between the water before cooking and the cooked broth for each ingredient in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$	72
Supplementary Figure 2. Concentration of metal(loid)s ($\mu\text{g/g ww}$) in the tap water before adding ingredients and in the cooked broth for various ingredients boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means between the water before cooking and the cooked broth for each ingredient in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$. MeHg was not measured in seaweed due to low THg concentrations.	73
Supplementary Figure 3. Concentration of nutrients ($\mu\text{g/L}$) for broth in various cooking conditions for the seaweed. Different letters represent significantly different means within each condition group in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$	74
Supplementary Figure 4. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients found in various raw and cooked tissues boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	75
Supplementary Figure 5. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients found in the broth boiled for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). The fish muscle presented comes from large lake trouts. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	76
Supplementary Figure 6. Concentrations of nutrient ($\mu\text{g/g ww}$) in various raw muscle tissues for different fish tissues. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	77
Supplementary Figure 7. Concentrations of toxic metal(loid)s ($\mu\text{g/g ww}$) in various raw muscle tissues for different fish tissues. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	78
Supplementary Figure 8. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients in raw and cooked muscle, cheek, brain, tongue and brain tissue for boiled Arctic char and large lake trout. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	79
Supplementary Figure 9. Concentrations of toxic metal(loid)s ($\mu\text{g/g ww}$) in raw and cooked muscle, cheek, brain, tongue and brain tissue for boiled Arctic char and large lake trout. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.	80

Supplementary Figure 10. Bioaccessibility percentage (%) for metal(loid)s in the gastric and gastric-intestinal phase during digestion. 81

Liste des sigles et abréviations

Les caractères italiques proviennent de la langue anglaise

±	plus ou moins / <i>plus or minus</i>
α	niveau de signification / <i>significance level</i>
AI	<i>adequate intake</i>
As	arsenic / <i>arsenic</i>
As(III)	arsénite / <i>arsenite</i>
As(V)	arséniate / <i>arsenate</i>
AsB	arsénobétaïne / <i>arsenobetaine</i>
AsL	arsénolipide / <i>arsenolipid</i>
As-Sug	arsénosucré / <i>arsenosugar</i>
ANOVA	<i>analysis of variance</i>
BrCl	<i>bromine monochloride</i>
BW	<i>body weight</i>
Ca	calcium / <i>calcium</i>
Cd	cadmium / <i>cadmium</i>
CF	<i>country food</i>
CVAFS	<i>cold vapour atomic fluorescence spectrometry</i>
DMA	diméthylarsine / <i>dimethylarsinic acid</i>
EDI	<i>estimated daily intake</i>
F	<i>filtered</i>
Fe	fer / <i>iron</i>
H ₂ O ₂	<i>hydrogen peroxide</i>
HCl	<i>hydrogen chloride</i>
Hg	mercure / <i>mercury</i>
HNO ₃	<i>nitric acid</i>
HQ	<i>hazard quotient</i>
K	potassium / <i>potassium</i>
LIF	<i>lucky iron fish</i>
MeHg	méthylmercure / <i>methylmercury</i>

Mg	magnésium / <i>magnesium</i>
MMA	monométhylarsine / <i>monomethylarsonic acid</i>
n	nombre d'échantillon / <i>sample size</i>
NA	n'est pas applicable / <i>not applicable</i>
ND	<i>not detected</i>
NF	<i>not filtered</i>
PC	<i>portion consumed daily</i>
ph	poids humide
pTDI	<i>provisional tolerable daily intake</i>
RDA	<i>recommended dietary allowance</i>
RMRV	<i>recommended maximum reference value</i>
RRSSSN	régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik
Se	sélénium / <i>selenium</i>
sp	espèce / <i>specie</i>
Unk	<i>unknown species</i>
TAs	arsenic total / <i>total arsenic</i>
THg	mercure total / <i>total mercury</i>
ww	<i>wet weight</i>
Zn	zinc / <i>zinc</i>

À moi-même pour avoir atteint mon objectif et pour avoir accompli cette merveilleuse étape

Remerciement

Tout d'abord, j'aimerais dire un grand merci à Marc (mon directeur) pour m'avoir offert la possibilité d'accomplir une maîtrise et à Mélanie (ma co-directrice) pour nous avoir inclus dans ce merveilleux projet. Merci à vous deux pour votre confiance, votre soutien et votre aide au cours de la réalisation de cette étape importante dans mon chemin académique. J'apprécie énormément vos efforts et vos encouragements tout au long du projet. Je suis très choyée d'avoir eu la chance de travailler avec vous deux !

À Dominic et Maria, un gros merci pour tout votre aide en laboratoire. Sans votre aide, je n'aurais jamais été capable d'analyser les milliers et milliers d'échantillons produits durant les expériences. Un merci spécial à Maria qui au moment d'écrire cette section est en train d'analyser des échantillons supplémentaires pour moi. Merci à vous deux pour votre soutien, votre aide, vos conversations et de toujours être ouverts à répondre à mes questions. Je suis heureuse d'avoir travaillé avec vous !

Merci à tous les étudiants du labo Amyot de m'avoir accueilli et offert votre soutien tout au long de ce projet. Merci à Holly et Maëlys de m'avoir amené sur leur terrain à Kangiqsualujjuaq. Un gros merci à Éloïse pour son aide avec les analyses de bioaccessibilité et pour sa patience durant les ajustements de pH. Merci à vous tous pour vos conversations, vos idées et nos merveilleux rendez-vous de dîner !

Merci à tous les gens qui ont contribué à l'obtention des échantillons avec une mention spéciale à Carole pour avoir fait les recettes de truites grises et à José pour les échantillons d'algues et de bivalves.

Mon dernier remerciement est pour ma famille, « always save the best for last ». Je ne suis pas la meilleure pour les remerciements, mais merci énormément ! Vous êtes toujours là quand j'en ai besoin et je n'aurais jamais pu faire cette étape sans vous. Je suis très chanceuse de vous avoir

dans mon coin et je ne peux pas exprimer comment je vous apprécie. Votre support, vos conseils et votre croyance en moi sont ce qui m'a donné le courage et la confiance de faire cette étape. Je vous aime tellement ! MERCI ! « Thank you to my siblings François and Claudia, you guys are amazing and I'm always here for you! I am one lucky sister and could never imagine going through life without you. I love you guys so much! »

Chapitre 1 : Introduction générale

1.1 Contexte et organisation du mémoire

Mon projet de mémoire est issu d'une consultation faite en 2019 dans le cadre d'un projet intitulé *Nutaratsaliit Qanuingsiarningit Nigituinnanut* qui se traduit par « Grossesses en santé avec les aliments traditionnels ». Cette consultation a été réalisée en partenariat avec la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik (RRSSSN) et des collègues inuits¹. La RRSSSN et des collègues inuits considèrent que la nourriture traditionnelle est la meilleure source de nutriments pour les femmes enceintes et les jeunes enfants. En fait, il est traditionnellement recommandé aux femmes inuites enceintes et allaitantes de consommer un bouillon à base de poisson, fait avec le poisson en entier ou simplement la tête, car cela favoriserait la lactation et aussi la bonne croissance du fœtus et des jeunes enfants (Lemire et al., 2019). Par contre, malgré les concentrations importantes de nutriments dans les aliments traditionnels, les femmes inuites enceintes ont une demande nutritionnelle plus élevée et la sécurité alimentaire est un enjeu important (Blanchet & Rochette, 2008 ; Furgal et al., 2022 ; Lavoie et al., 2021). Alors, les carences en fer et en calcium sont plus fréquentes chez elles. De plus, durant la consultation, des inquiétudes quant aux concentrations de métaux et de métalloïdes dans des bouillons faits à base de têtes de grosses truites grises (*Salvelinus namaycush*) (*manarsuk*), dont la chair est connue pour être élevée en mercure, ou d'omble de chevalier (*Salvelinus alpinus*) ont été soulevées. Alors, mon projet a été créé pour pouvoir répondre à ces inquiétudes.

¹ Note : dans le texte qui suit, pour l'usage du mot inuit en français et anglais, nous suivons les recommandations du Bureau de la traduction du gouvernement du Canada.

Mon mémoire se divise en trois chapitres. Le premier est une introduction générale avec une revue de la littérature pour documenter l'importance de l'alimentation traditionnelle pour les Inuits, les nutriments d'intérêt dans les aliments traditionnels et leurs carences chez cette population, la contamination de métaux et de métalloïdes potentiellement toxiques dans les aliments traditionnels, la bioaccessibilité de ceux-ci et les ingrédients qui peuvent potentiellement améliorer les recettes inuites. Le deuxième chapitre présente mes résultats sous forme d'article scientifique. Le dernier chapitre est la conclusion de mon mémoire et résume les impacts que celui-ci peut avoir pour les recettes inuites.

1.2 Alimentation traditionnelle

Au Nunavik, l'alimentation traditionnelle des Inuits, souvent appelée « country food », est constituée en grande partie d'aliments chassés (caribou, phoque, oiseau), pêchés (poisson) et cueillis (algue², moule, petits fruits) (Gagné et al., 2012 ; Lawn et al., 2004). Le régime alimentaire des Inuits est composé à la fois des aliments traditionnels et des aliments achetés aux magasins locaux ; les aliments traditionnels ont une densité nutritionnelle plus élevée (Blanchet et Rochette, 2008 ; Gagné et al., 2012). Ils sont entre autres une excellente source de protéines, d'acides gras et de sélénium (Se), aussi riche en vitamines A et D et d'autres nutriments³ (fer (Fe), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), zinc (Zn)) (Blanchet & Rochette, 2008 ; Gagné et al., 2012). En fait, l'alimentation traditionnelle est au cœur de la culture et du bien-être des Inuits et contribue de façon importante à la sécurité alimentaire et aux apports en nutriments dans les communautés

² Note : dans le mémoire, le terme algue fait référence aux macro-algues qui sont les organismes aquatiques visibles à l'œil nu et fixées au fond de l'eau par un thalle.

³ Note : dans la littérature, les nutriments sont différenciés en micro- et macro-nutriment selon la quantité requis pour assurer le bon fonctionnement du corps humain. Pour mon mémoire, les deux vont être englobés sous le terme nutriment.

(Allaire et al., 2021 ; Lawn et al., 2004). Il est donc important d'encourager et de maintenir la consommation de ces aliments.

Le partage des savoirs traditionnels inuits (*Qaujimajatuqangit*) spécifiquement au niveau des recettes et des modes de préparation de la nourriture contribue à la promotion d'utilisation des aliments traditionnels (Inuit Tapiriit Kanatami, 2017). Les recettes et les modes de préparation vont varier selon la région et la disponibilité des aliments. Les recettes sont recommandées pour les différents bienfaits pour la santé comme, tel que mentionné ci-haut, le bouillon à base de poisson qui favoriserait la lactation. La sécurité alimentaire est aussi un enjeu important au Nunavik surtout durant de la grossesse (Furgal et al., 2022). De plus, pour des raisons physiologiques, les risques de carence en Fe et en Ca sont accrus pendant la grossesse et peuvent avoir d'importantes conséquences au niveau de la santé de la femme enceinte et de l'enfant (Balendran & Forsyth, 2021 ; Gagné et al., 2012 ; Kovacs & Fuleihan, 2006 ; Lavoie et al., 2021 ; Pirkle et al., 2014). Les études récentes au Nunavik montrent d'ailleurs que la carence en Fe demeure un enjeu important chez les femmes enceintes et en âge de procréer (âgées de 16 à 49 ans) (Lavoie et al., 2021). Une étude par Lawn et al. (2004) sur la nutrition et la sécurité alimentaire à Kangiqsujuaq propose qu'en rajoutant ou changeant quelques ingrédients simples, il soit possible d'améliorer l'apport nutritionnel fourni par les recettes inuites et mieux répondre aux besoins nutritionnels quotidiens des femmes enceintes.

Certains aliments traditionnels peuvent toutefois avoir des concentrations élevées en métaux et en métalloïdes potentiellement toxiques (mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd)). Par exemple, quelques espèces de poissons prédatrices comme la truite grise, parfois utilisée dans le bouillon à base de poisson, sont connues pour bioaccumuler le Hg surtout sous sa forme méthylée (Lehnerr, 2014 ; Lemire et al., 2015). À cause du phénomène de bioaccumulation, les concentrations de Hg sont plus importantes chez les poissons plus âgés (donc de plus grande taille), menant à une exposition importante au Hg chez les consommateurs (Basu et al., 2018 ; Lehnerr,

2014 ; Lemire et al., 2015). Cette situation peut entraîner un sentiment d'inquiétude envers certains aliments traditionnels et peut par la suite mener à une baisse de la consommation de ces aliments (Lawn et al., 2004 ; Lemire et al., 2019). Toutefois, comme l'alimentation traditionnelle est riche en nutriments, il importe de trouver des solutions pour promouvoir sa consommation pour maximiser les apports nutritionnels tout en minimisant l'exposition à ces éléments toxiques (Laird & Chan, 2013 ; Lemire et al., 2015 ; Little et al., 2019).

1.3 Nutriments d'intérêt et leurs carences

1.3.1 Le fer (Fe)

Le Fe est un nutriment essentiel qui agit comme cofacteur dans plusieurs réactions enzymatiques et aide à transporter l'oxygène dans l'hémoglobine (Ghosh, 2006 ; Hartfield, 2010). Cependant, la carence en Fe est parmi les carences nutritionnelles les plus communes globalement affectant environ 3,5 milliards de personnes dans les pays en développement (UN-SCN, 2010). Au Nunavik, la carence en Fe est fréquente, en particulier chez les femmes en âge de procréer, les femmes enceintes et les enfants (Lavoie et al., 2021 ; Pirkle et al., 2014). En effet, dans le cas de l'enquête de santé des Inuits du Nunavik *Qanuilirpitaa?* réalisée en 2017, parmi les 30 femmes enceintes testées, 73 % d'entre elles présentaient une carence en Fe. Au Nunavik, la sécurité alimentaire est un enjeu important contribuant aux carences en Fe. De plus, durant la grossesse, les besoins physiologiques en Fe s'accroissent considérablement pour soutenir le développement du fœtus notamment en augmentant la circulation et le volume total de sang (Fisher & Nemeth, 2017 ; Pritchard, 1965). Une carence en Fe prolongée peut donc entraîner des conséquences importantes sur la santé de la femme enceinte ou allaitante et pour la santé des enfants, notamment un retard dans le développement cognitif, mental ou comportemental ou bien le développement d'une anémie liée au Fe (Balendran & Forsyth, 2021 ; Baltussen et al., 2004 ; Hodgins et al., 1998). Selon le gouvernement du Canada, les femmes enceintes nécessitent un apport de 27 mg/jour de Fe (Health

Canada, 2010; Institute of Medicine, 2006). Le peu de données disponibles sur les aliments traditionnels au Nunavik semble indiquer que les algues, les moules, les myes et d'autres organes de gros mammifères comme le caribou et les phoques seraient riches en Fe (NRRHSS, 2023). Comme plusieurs aliments semblent être des bonnes sources de Fe, il serait possible d'utiliser ces aliments traditionnels pour optimiser l'apport en Fe des recettes traditionnelles inuites.

1.3.2 Le calcium (Ca)

Le Ca est un nutriment essentiel lors de la grossesse. Un apport adéquat en Ca permet de réduire les troubles hypertensifs, de prévenir l'ostéoporose et de baisser la tension artérielle chez les femmes enceintes (Cormick & Belizán, 2019). Peu d'études existent sur le statut en Ca dans les communautés inuites au Nunavik, mais il semblerait que plusieurs auraient une alimentation faible en Ca (Berti et al., 2008 ; Blanchet & Rochette, 2008). Santé Canada recommande une consommation de 1000 mg/jour de Ca pour une femme enceinte (Health Canada, 2010; Institute of Medicine, 2006). Le Ca se retrouve surtout dans les produits laitiers, mais la majorité des Inuits en consomme très peu (Blanchet & Rochette, 2008). Le Ca est plutôt acquis par des aliments traditionnels comme les os et la peau de poisson et les algues (NRRHSS, 2023). Dans un guide alimentaire au Nunavut, ils ont mentionné que les moules et les myes sont aussi une source de Ca, mais il reste à vérifier si c'est le cas pour ces aliments au Nunavik (Ministère de la Santé, 2013).

1.3.3 Le potassium (K), le magnésium (Mg) et le zinc (Zn)

Lorsque l'apport nutritionnel est adéquat, le K joue un rôle crucial dans la régulation des muscles utérins pendant la grossesse et surtout lors de l'accouchement, le Mg permet entre autres la synthèse des acides nucléiques et des protéines, le fonctionnement neurologique et la contraction musculaire et le Zn est essentiel pour la croissance du fœtus (Brainard et al., 2007 ; Izquierdo Álvarez et al., 2007 ; Jahnen-Dechent & Ketteler, 2012). Comme pour le Ca, le statut des apports en K, en Mg et en Zn n'est pas bien documenté au Nunavik. L'enquête de santé des Inuits du Nunavik

Qanuippitaa? réalisée en 2004 a estimé qu'environ 80 % des adultes inuits n'avaient pas un apport adéquat en Mg et 34 % en Zn (Blanchet & Rochette, 2008). Le gouvernement du Canada conseille une consommation de 350 mg/jour de Mg et 11 mg/jour de Zn pour les femmes enceintes (Health Canada, 2010; Institute of Medicine, 2006). Pour le K, depuis 2019, il est recommandé que les femmes enceintes en consomment 2900 mg/jour (Health Canada, 2023). Au Nunavik, peu de données existent sur ces nutriments dans les aliments traditionnels, mais plusieurs espèces de poisson semblent être une bonne source de Mg (Blanchet et al., 2000). Sinon, en regardant un guide alimentaire du Nunavut, on peut prédire que des aliments comme la viande et les organes de mammifères, les myes, les moules et le lagopède seront de bonne source de K, Mg et Zn (Kuhnlein et al., 2002 ; Ministère de la Santé, 2013).

1.3.4 Le sélénium (Se)

Lorsque l'apport est adéquat, le Se peut avoir des effets bénéfiques pour la santé puisqu'il peut agir comme antioxydant. Cette propriété est utile lors de la grossesse, puisque le Se se trouvant dans le placenta peut participer à la réduction des peroxydes d'hydrogène (Mihailović et al., 2000 ; Pieczyńska & Grajeta, 2015 ; Zwolak, 2020). La peau de béluga, qui est au cœur de l'alimentation et de la culture des Inuits du Nunavik, est connue pour être très riche en Se et contribuer de façon majeure à son apport au Nunavik (Lemire et al., 2015). La sélénonéine, qui a été identifiée comme la principale forme de Se dans cet aliment, est aussi connue pour ses propriétés antioxydantes. Des études animales ont aussi mis en évidence que la sélénonéine a la capacité d'interagir avec le méthylmercure et pourrait contribuer à réduire ses effets néfastes sur la santé (Achouba et al., 2019 ; El Hanafi et al., 2022 ; Yamashita et al., 2013). Cependant, il y a insuffisamment de données sur la sélénonéine et les autres espèces de Se présentes, donc la recommandation du gouvernement du Canada est basée sur le Se total. Il recommande une consommation d'au moins 60 µg/jour de Se (Health Canada, 2010; Institute of Medicine, 2006). D'autres aliments traditionnel au Nunavik comme les œufs de poisson, le morse et les moules ont des concentrations relativement élevées de

Se et des études sont en cours pour déterminer leurs concentrations en sélénonéine (Lemire et al., 2015). Pour le moment, il n'y a pas d'indication que la sélénonéine a des effets néfastes sur l'organisme, même en concentrations élevées, mais plus d'études sur le sujet sont nécessaires.

1.4 Contamination de métaux et métalloïdes potentiellement toxiques

1.4.1 Le mercure (Hg)

Le Hg est un contaminant toxique se trouvant naturellement dans les sols, l'air et les eaux, mais qui est aussi relâché par des sources anthropiques comme la combustion du charbon, l'exploitation minière et la production de ciment (Health Canada, 2004). Le Hg est parmi les contaminants inquiétants puisqu'il peut causer plusieurs effets néfastes sur la santé surtout sous sa forme méthylée (Clarkson, 2002). Le Hg est méthylé localement par les microorganismes dans les sédiments et la colonne d'eau pour produire du méthylmercure (MeHg) (Lehnherr, 2014 ; McKinney & Chételat, 2021). Le MeHg peut se bioaccumuler et se bioamplifier dans le réseau alimentaire et des concentrations élevées sont observées dans les aliments traditionnels au Nunavik en haut de la chaîne alimentaire telles que la chair de béluga et certaines espèces de poissons prédatrices comme la truite grise, surtout chez les individus les plus âgés (et de grande taille) (Basu et al., 2018 ; Lehnherr, 2014 ; Lemire et al., 2015). Le MeHg peut traverser les barrières hématoencéphalique et placentaire posant un risque au développement du fœtus (Pirkle et al., 2016). Une exposition chronique à faible dose au MeHg en particulier chez le fœtus durant la grossesse, peut entraîner des dommages physiologiques et des retards de développement plus tard durant l'enfance, notamment au niveau de la cognition, la parole, l'attention et la motricité fine (Adlard et al., 2021 ; Grandjean et al., 2014 ; Saint-Amour et al., 2006 ; Valera et al., 2012). Dans les dernières années, un effort pour diminuer les émissions du MeHg est mis de l'avant via des actions nationales et internationales comme la Convention de Minamata sur le mercure

(Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2019). Bien que l'exposition au MeHg ait diminué dans les dernières années, le Hg est toujours un enjeu de santé publique important au Nunavik. Les concentrations sanguines de Hg total (THg) au Nunavik sont élevées pour plus de 50 % des femmes en âge de procréer et 25 % des femmes enceintes par rapport à la valeur utilisée par Santé Canada comme ligne directrice pour identifier s'il y a un risque accru chez un individu (Adamou et al., 2020 ; Lemire et al., 2021). Il importe donc de minimiser l'exposition au MeHg des femmes enceintes pour réduire ses effets néfastes sur le développement du fœtal et durant l'enfance.

1.4.2 L'arsenic (As)

L'As se retrouve naturellement dans la croûte terrestre, mais va s'infiltrer dans l'eau souterraine par l'érosion des sols, des roches et des minerais (Public health Manitoba, 2007). L'As était utilisé industriellement pour la conservation chimique du bois, mais depuis 2004 est banni pour cet usage au Québec (Health Canada, 2019 ; Public health Manitoba, 2007). L'As est un métalloïde existant sous quatre états d'oxydation et deux formes soit organiques ou inorganiques (Sattar et al., 2016). Il existe plusieurs espèces d'As, mais dans le cadre de mon mémoire, nous nous concentrons sur les formes inorganiques arsénite (As(III)) et arséniate (As(V)) et les formes organiques suivantes : l'arsénobétaïne (AsB), le monométhylarsine (MMA), le diméthylarsine (DMA), les arsénosucres (As-Sug) et les arsénolipides (AsL). Parmi ceux-ci, les formes inorganiques font partie des contaminants les plus menaçants pour la santé en raison de leur toxicité élevée, mais celles-ci se retrouvent davantage dissoutes dans l'eau que dans les aliments (Sattar et al., 2016 ; Sharma et al., 2014). Par contre, il y a quelques études qui reportent la dégradation de l'AsB en formes inorganiques et ce serait une faible source d'exposition à ces formes toxiques (Hanaoka et al., 1992 ; Mürer et al., 1992 ; Popowich et al., 2016). L'As inorganique présent dans l'eau potable peut être absorbé entre 80 et 90 % par le tractus gastro-intestinal (Sattar et al., 2016 ; Sharma et al., 2014). S'il y a une exposition élevée chez les enfants, ceci peut entraîner du stress oxydatif et des

retards de développement des fonctions cognitives et de la mémoire (Tolins et al., 2014). Cependant, peu de données semblent disponibles sur l'absorption de l'As inorganique provenant des aliments.

Pour les formes méthylées organiques, le MMA et le DMA peuvent être formés soit à partir de l'As(III) ou l'As(V) et dans les deux cas, ils sont considérés des formes toxiques. Quelques études reportent que le MMA formé à partir de l'As(III) serait considéré plus toxique que les formes inorganiques (Reimer et al., 2010 ; Sharma et al., 2014). Pour le moment, il n'y a aucune détection naturelle de celui-ci dans l'eau ou les aliments contrairement aux MMA et aux DMA formés à partir de l'As(V) qui s'y retrouvent naturellement dans les aliments (Reimer et al., 2010 ; Sharma et al., 2014). L'AsB est généralement considéré non-toxique, alors que les AsL et les As-Sug sont classifiés comment potentiellement toxiques (Reimer et al., 2010 ; Sharma et al., 2014). Une étude par Bornhorst et al. (2020) a regardé la biodisponibilité des trois catégories d'AsL et elle a démontré que deux des trois catégories n'étaient pas absorbées par *Caenorhabditis elegans*, mais la troisième catégorie pourrait présenter un risque toxique. Plus d'études sur la toxicité des AsL et des As-Sug sont donc nécessaires, surtout dans les aliments.

Les sources majeures d'exposition à l'As dans l'alimentation sont les fruits de mer comme les crustacés, les moules et les algues ainsi que certains poissons marins (Edmonds et al., 1993). Dans les fruits de mer et les poissons, les formes organiques sont dominantes et principalement sous forme d'AsB, d'As-Sug et d'AsL. Selon la littérature, les As-Sug sont plus abondants dans les algues et l'AsB dans les moules, mais peu d'études se sont attardées à mesurer les AsL (Almela et al., 2005 ; Edmonds et al., 1993 ; Edmonds & Francesconi, 1987 ; Taylor et al., 2017). De plus, peu de données existent quant aux concentrations d'As et sa spéciation dans les aliments traditionnels au Nunavik. Or, dans le cadre de l'enquête de santé des Inuits du Nunavik *Qanuilirpitaa?* réalisée en 2017, les concentrations d'As total (TAs) dans des groupes d'échantillons d'urine des Inuits étaient significativement plus élevés que dans la population canadienne en général et avaient

tendance à augmenter avec l'âge et être plus élevées chez les femmes (Cirtiu et al., 2022). Les auteurs ont associé ces différences à la consommation d'aliments traditionnels d'origine marine qui est connue pour augmenter avec l'âge. De plus, les formes d'As auxquelles les Inuits de l'étude sont exposés n'ont pas été documentées. Il est important de mesurer la spéciation de l'As dans les aliments pour mieux comprendre les risques éventuels que l'As représente pour la santé au Nunavik comme ce n'est pas toutes les formes qui sont toxiques.

1.4.3 Le cadmium (Cd)

Le Cd est un contaminant toxique provenant des sources anthropiques comme la combustion de l'énergie fossile et la production d'engrais et des sources naturelles telles que les incendies de forêt, l'érosion des sols et des roches ou des activités volcaniques (World Health Organization, 2019). Le Cd présent dans les sols s'accumule naturellement dans les végétaux comme le tabac, le lichen, les algues et les moules. L'exposition du Cd se fait soit par l'alimentation en consommant les aliments comme les algues et les moules, mais aussi les reins de cervidés (comme le caribou) qui mangent le lichen ou par l'inhalation de fumée de cigarette (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012; Fontaine et al., 2008; Lemire et al., 2021). Chez l'humain, le Cd s'accumule dans les reins et les poumons causant des problèmes rénaux et respiratoires ainsi que des problèmes de réabsorption généralisée (World Health Organization, 2019). Les impacts sur la santé ne sont pas bien étudiés au Nunavik et dans le cadre de l'enquête de santé des Inuits du Nunavik *Qanuilirpita?* réalisée en 2017, environ 7 % de la population présentait des concentrations sanguines de Cd plus élevées que la limite utilisée au Québec pour identifier les individus qui ont un risque accru pour la santé (Lemire et al., 2021). L'exposition au Cd était essentiellement associée à la consommation de tabac et de marijuana, qui sont très fréquents dans la région, ainsi qu'à l'exposition de la fumée secondaire dans la maisonnée (Lemire et al., 2021). L'exposition au Cd n'était pas associée à la consommation de moules ou d'algues, mais ces aliments n'étaient pas reportés comme consommés fréquemment au moment de l'enquête (Lemire et al., 2021). Alors, il est important de bien

déterminer les concentrations de Cd dans les moules et les algues dans l'éventualité où des recettes contenant ces aliments sont consommées plus régulièrement.

1.5 La bioaccessibilité

La consommation d'un aliment avec une certaine quantité de nutriments et de contaminants n'est pas un indicateur direct de la quantité qui sera assimilé dans l'organisme. Pour la plupart des aliments, seul un certain pourcentage des nutriments et des contaminants est rendu bioaccessible durant la digestion. La bioaccessibilité est définie comme étant la quantité de nutriments ou de contaminants libérée sous forme dissoute dans le tractus gastro-intestinal et disponible pour être absorbée dans la circulation sanguine (Ruby et al., 1993). Cette quantité peut être estimée avec l'utilisation des tests de bioaccessibilité qui simulent le processus digestif in vitro avec l'implication des changements de température, de pH, d'agitation et des conditions enzymatiques (Koch et al., 2007 ; Ruby et al., 1993). Par contre, il y a un certain nombre de problèmes avec les tests in vitro puisqu'ils ne sont pas fréquemment validés avec des tests in vivo (Charette et al., 2021). Ce mémoire utilise un modèle hybride dérivé du protocole d'Infogest 2.0 et du Physiologically-based extraction test (Brodkorb et al., 2019 ; Charette et al., 2021 ; Ruby et al., 1993). Ce modèle a été optimisé par le laboratoire de Marc Amyot dans le cadre du contrat 4500413628 par Santé Canada. Ce modèle a été développé pour estimer la quantité de Hg qui est bioaccessible lors de la phase gastrique et intestinale in vitro et a été validé pour la quantité de Hg dans le thon. Dans une perspective exploratoire, nous allons le prendre pour estimer la bioaccessibilité d'autres contaminants (TAs, Cd) et nutriments (K, Ca, Mg, Fe, Zn, Se).

1.6 Ingrédients potentiels pour optimiser les recettes

Pour l'ensemble des raisons mentionnées plus tôt, il est important de fournir les données aux Inuits et aux organisations régionales du Nunavik pour contribuer à la prise de décision éclairée et à la gestion du risque afin d'encourager et maintenir la consommation des aliments traditionnels de

façon sécuritaire. Un moyen d'encourager la consommation des aliments traditionnels serait d'optimiser une recette locale comme le bouillon à base de poisson en y ajoutant des aliments possiblement riches en différents nutriments comme des moules, des myes ou des algues qui sont traditionnellement récoltés au Nunavik (Allaire et al., 2021 ; Rapinski et al., 2018). Une autre option d'optimisation est dans le choix du poisson utilisé pour faire le bouillon de poisson. Selon les consultations au Nunavik, il est généralement préparé avec des têtes ou le corps entier (préalablement éviscéré) de l'omble chevalier ou de la truite grise, mais d'autres espèces sont disponibles dans les communautés du Nunavik et peuvent varier d'une communauté à l'autre et en fonction des saisons (Pontual et al., 2021). Puisque le bouillon est notamment recommandé aux femmes enceintes, un moyen d'optimiser le bouillon en Fe est d'ajouter des produits commerciaux comme le Lucky Iron Fish® (LIF) développés dans le cadre d'interventions en santé publique pour augmenter l'apport en Fe dans des bouillons ou des soupes (Armstrong, 2016 ; Charles, 2012).

1.6.1 Le poisson

Les poissons sont parmi les organismes marins et d'eau douce les plus pêchés et fréquemment consommés au Nunavik : d'abord l'omble chevalier, suivi de la truite grise, l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), et le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*) (Allaire et al., 2021). Certaines communautés, comme celles de Kangiqsujuaq et Ivujivik, pêchent la truite grise et le grand corégone à longueur d'année (Rapinski et al., 2018). Plusieurs parties du poisson sont consommées dont la chair, le foie et la tête, et parfois les os et les cartilages, lorsque cuits dans du bouillon. Selon quelques études faites sur le poisson au Nunavut, car il y en a peu au Nunavik, les différentes espèces de poisson listées ci-bas ne semblent pas avoir des concentrations importantes en nutriment sauf pour le K (Tableau 1) lorsque les valeurs sont comparées aux valeurs recommandées par Santé Canada pour l'apport journalier en nutriments requis par les femmes enceintes (Kuhnlein et al., 2002 ; Kuhnleini & Soueida, 1992 ; Lockhart et al., 2005). Certains poissons prédateurs comme les grosses truites grises sont connus pour avoir des concentrations plus

élevées en THg que la valeur maximale recommandée par Santé Canada dans les poissons commerciaux de 0,5 µg/g (Lemire et al., 2015). La valeur maximale recommandée a été établie par Santé Canada dans le but de réduire l'exposition du THg chez les humains (Health Canada, 2007). Dans le Tableau 1, les truites grises sont la seule espèce à présenter des valeurs au-dessus de 0,5 µg/g tandis que les concentrations en THg sont faibles pour les autres espèces. Le MeHg est connu d'être la forme principale du THg se retrouvant dans la chair de poisson et il y a quelques études qui rapportent que le MeHg dans la chair bouillie serait en moyenne entre 8,4 % et 40 % bioaccessible dépendamment de l'espèce (Afonso et al., 2015 ; Charette et al., 2021 ; Girard et al., 2018 ; Liao et al., 2020). Les concentrations d'As et de Cd ne sont pas rapportées pour les espèces dans le Tableau 1, mais plus de 30 % de l'As inorganique et du Cd présents pourraient être bioaccessibles dépendamment de l'espèce (Laird & Chan, 2013). Les valeurs pour les nutriments et pour les métaux et les métalloïdes fournis sont généralement des données pour des muscles crus. Il y a eu quelques études récentes qui observent un impact de cuisson et un transfert potentiel des nutriments, des métaux et des métalloïdes des tissus de muscles vers le bouillon (Amyot et al., 2023 ; Charette et al., 2021). Cet impact de cuisson peut être vu dans le Tableau 1 ; par ailleurs, il y a une augmentation de la concentration de Ca dans la chair de l'omble chevalier bouilli par rapport à celui cru. Les concentrations de nutriments, de métaux et de métalloïdes, sauf pour le Hg, dans les quatre espèces de poisson d'intérêt au Nunavik sont peu étudiées incluant les effets que la cuisson peut avoir sur ceux-ci et comment ça affecte leur bioaccessibilité.

Tableau 1. Revue de littérature sur les concentrations de nutriments et de contaminants ($\mu\text{g/g}$ poids humide (ph)) des ingrédients potentiels venant du Nunavik, du Nunavut ou de la Norvège (pour les algues).

Espèces	État de cuisson	K ($\mu\text{g/g}$ ph)	Ca ($\mu\text{g/g}$ ph)	Mg ($\mu\text{g/g}$ ph)	Fe ($\mu\text{g/g}$ ph)	Zn ($\mu\text{g/g}$ ph)	Se ($\mu\text{g/g}$ ph)	THg ($\mu\text{g/g}$ ph)	TAs ($\mu\text{g/g}$ ph)	Cd ($\mu\text{g/g}$ ph)	Référence
Omble chevalier (Arctic char / <i>Salvelinus alpinus</i>)	cru	3090	110-140	290-300	3-6	4-6	0,240	<0,05	NA	NA	(Kuhnlein et al., 2002 ; Kuhnleini & Soueida, 1992 ; Lemire et al., 2015 ; Lockhart et al., 2005)
	bouilli	NA	300	300	5	6	NA	NA	NA	NA	(Kuhnleini & Soueida, 1992)
Truite grise (Lake trout / <i>Salvelinus namaycush</i>)	cru	NA	NA	NA	NA	NA	0,170	> 1,00	NA	NA	(Lemire et al., 2015)
Grand corégone (Lake whitefish / (<i>Coregonus clupeaformis</i>))	cru	5140	260	320	4	6	0,170	<0,05	NA	NA	(Kuhnlein et al., 2002; Lemire et al., 2015)
<i>Salvelinus sp.</i>	cru	2730	380	260	4	4	0,300	NA	NA	NA	(Kuhnlein et al., 2002)
	cuit	NA	290	210	6	6	0,600	NA	NA	NA	(Kuhnleini & Soueida, 1992)
Moule bleue (blue mussel / <i>Mytilus edulis</i>)	cru	NA	850	580	150	10	0,430	0,02-0,03	NA	NA	(Braune et al., 2005; Kuhnleini & Soueida, 1992; Lemire et al., 2015)
	bouilli	NA	680	480	350	21	NA	NA	NA	NA	(Kuhnleini & Soueida, 1992)
Mye commune (truncate clam / <i>Mya truncata</i>)	cru	NA	1720	1070	25	39	NA	NA	NA	NA	(Kuhnleini & Soueida, 1992)
	bouilli	NA	1980	1220	34	59	NA	NA	NA	NA	(Kuhnleini & Soueida, 1992)
<i>Alaria esculenta</i>	cru	NA	520	566	6	3	0,003	<0,05	3,1	0,2200	(Maehre et al., 2014)
<i>Fucus vesiculosus</i>	cru	NA	1116	688	9	2	0,003	<0,05	3,8	0,1100	(Maehre et al., 2014)
<i>Laminaria digitata</i>	cru	NA	810	680	5	2	0,002	<0,05	5,2	0,0081	(Maehre et al., 2014)

NA : N'est pas applicable

1.6.2 Les algues

Les algues sont des plantes marines traditionnellement cueillies et consommés par les communautés inuites (Wein et al., 1996). Dans la région de la baie d'Ungava, la communauté de Kangirsuk récolte les algues brunes *Fucus vesiculosus* et *Fucus evanescens* dans la zone intertidale et les algues brunes *Alaria esculenta* (*kuanniq*), *Saccharina longicruris* (*itsuujaq*), *Laminaria digitata*, et *Laminaria solidungula* dans la zone infralittorale (Sharp et al., 2008 ; Lemire pers. comm.). Similairement, dans les communautés de Kangiqsujuaq et Ivujvik, ils cueillent *Fucus evanescens*, *Alaria esculenta*, *Saccharina longicruris* (Rapinski et al., 2018). L'*Alaria esculenta*, est la plus consommée dans ces villages (Rapinski et al., 2018). Peu d'études rapportent les concentrations, l'impact de la cuisson et la bioaccessibilité des nutriments et des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques chez les algues consommées au Nunavik. Des études dans d'autres régions comme la Norvège montrent que les algues offrent une grande diversité de nutriments comme le Ca et le Mg (Tableau 1) (Maehre et al., 2014). Selon une étude sur le blanchissement des légumes, même après avoir été bouillis, le Ca et le Mg resteraient dans les légumes et ne seraient pas transférés au bouillon (Puupponen-Pimiä et al., 2003). Les algues pourraient aussi être une excellente source de Fe (García-Casal et al., 2007). Tel que soulevé plus tôt, les algues peuvent aussi présenter des concentrations élevées d'As (Maehre et al., 2014). Les études reportant les concentrations d'As considèrent toutefois peu la spéciation de celui-ci, mais dans les dernières années, il a été découvert que l'As dans les algues se trouve principalement sous une forme organique d'As-Sug (Cherry et al., 2019 ; Garcia-Barrios et al., 2021 ; Kim et al., 2020). De plus, il existerait une variation saisonnière dans les concentrations de nutriments, de métaux et de métalloïdes dans les algues (García-Casal et al., 2007 ; Schiener et al., 2015). En général durant l'été, les algues semblent avoir des concentrations en Fe plus élevées qu'en hiver (García-Casal et al., 2007 ; Schiener et al., 2015). Plus d'études sont nécessaires pour évaluer le risque des concentrations d'As notamment en regardant la spéciation et l'impact que la cuisson peut avoir sur

les nutriments et les métaux et les métalloïdes potentiellement toxiques si les algues sont ajoutées au bouillon.

1.6.3 Les moules et les myes

Les bivalves dont les moules et les myes sont des fruits de mer disponibles à longueur d'année et cueillis sur le bord de l'eau à marée basse ou sous la glace en hiver (Rapinski et al., 2018). La cueillette de moules et de myes est moins fréquente que la pêche par exemple, mais elles jouent un rôle important dans l'alimentation de certaines communautés où les marées sont les plus élevées (Rapinski et al., 2018). Les communautés de Kangiqsujuaq et Ivujivik cueillent notamment la moule bleue (*Mytilus edulis*) et la mye commune (*Mya truncata*) (Rapinski et al., 2018). Il y a très peu d'études sur les apports nutritionnels et les concentrations de métaux et de métalloïdes potentiellement toxiques des moules et des myes au Nunavik. Selon les données du Nunavut, les moules semblent être une bonne source de Mg, Fe, Zn and Se tandis que les myes semblent être une bonne source de Ca, Mg, Zn et Se (Tableau 1) (Egeland et al., 2009 ; Kuhnleini & Soueida, 1992). Les concentrations de nutriments changent en bouillant ces aliments (Tableau 1). Pour les moules, une baisse dans les concentrations de Ca et Mg ainsi qu'une augmentation de Fe sont observées tandis que les myes présentent une augmentation de Ca, Mg, Fe et Zn (Kuhnleini & Soueida, 1992). Ces données sont basées sur un réplikat, alors d'autres études sur l'impact de la cuisson sont nécessaires. Au Nunavik dans les années 2000, les études sur les moules ont trouvé des concentrations variant de 0,01 à 0,03 µg/g ph (poids humide) en THg avec un faible pourcentage du Hg en MeHg et aucune trace de THg dans les myes (Braune et al., 2005). Il est connu que les bivalves peuvent accumuler d'importantes concentrations de Cd dans leur système digestif en absorbant le Cd de l'eau ambiante (Bebianno et al., 1993 ; Choi et al., 2007 ; Riisgard et al., 1987 ; Serra et al., 1995). Cependant, peu de données ont été publiées pour les espèces de bivalves récoltées au Nunavik. Plus d'études sur les concentrations de Cd et d'As ainsi que sa spéciation dans les moules et les myes sont nécessaires.

1.6.4 Lucky Iron Fish (LIF)

Le LIF est un morceau de Fe en forme de poisson développé par une équipe de recherche pour compléter les bouillons ou les soupes en Fe lors de la cuisson (Armstrong, 2016 ; Charles, 2012). Il est estimé que le LIF relâche entre 6 et 8 mg de Fe lorsqu'il est bouilli dans 1 L d'eau acidifiée à un pH d'au moins 6,5 pendant 10 minutes (Armstrong, 2016 ; Charles, 2012). L'acidification de l'eau aide à dissoudre le Fe du LIF et le libérer dans l'eau. Puisqu'une femme enceinte aurait besoin de 27 mg/jour de Fe, le LIF pourrait être une bonne contribution à l'apport journalier en Fe lorsqu'il est bouilli dans 1 L. La concentration de Fe va donc dépendre du volume dans lequel le LIF est utilisé. De plus, le Fe relâché par le LIF est sous forme non hémique et celui-ci est moins bien absorbé par le corps, lorsque comparé au Fe hémique (Carpenter & Mahoney, 1992 ; Hallberg et al., 1979). Le Fe non hémique (sous forme oxydée Fe(III)) représente 80-90 % du Fe consommé par jour, mais avant de passer les parois intestinales, il doit être réduit en Fe(II) et la quantité qui devient disponible pour absorption dépend des aliments auxquels le Fe est lié (Anderson et al., 2005). Peu de données sur une utilisation prolongée du LIF sont disponibles, mais une étude au Guatemala démontre d'au bout de 9 mois d'utilisation, il y a une augmentation significative de la concentration en Fe dans le sang (Rodríguez-Vivaldi & Beerman, 2018). Durant la consultation en 2019, le LIF avait été identifié comme alternative possible aux suppléments de Fe durant la grossesse puisque ces derniers peuvent avoir différents effets secondaires. Donc, ce LIF pourrait être une solution pour augmenter les concentrations en Fe dans les bouillons.

1.7 Implication des communautés inuites

L'implication des communautés inuites nous a permis de créer un projet répondant à leurs besoins. Leur participation durant la consultation en 2019 a permis de mieux comprendre les enjeux des femmes enceintes et comment on pourrait y répondre notamment en réalisant une étude expérimentale portant sur la recette traditionnelle de bouillon de poisson. En partageant leurs inquiétudes et l'importance que cette recette avait auprès des femmes enceintes et allaitantes, cela

nous a permis de comprendre la pertinence de l'utiliser et l'étudier dans le cadre de ma maîtrise. Les communautés inuites ont aussi pu participer aux campagnes d'échantillonnages des ingrédients. Mes échantillons provenaient de quatre communautés (Inukjuak, Puvirnituk, Salluit et Kangiqsualujjuaq) et une partie de mes expériences a été réalisée par Carole Beaulne à Puvirnituk avec l'aide de son mari qui a pêché les grosses truites grises. Les algues et les bivalves ont été récoltés durant une campagne d'échantillonnage à Kangiqsualujjuaq dans le cadre d'un programme de surveillance environnementale communautaire qui met un accent sur l'implication des communautés directement touchées par les changements environnementaux. Puisque la question de recherche pour ma maîtrise s'est issue de la consultation faite avec la RRSSSN, c'était important de les informer de mes résultats préliminaires et d'en discuter durant mes analyses. J'ai eu deux rencontres Zoom avec eux et plus récemment, j'ai pu présenter l'ensemble de mon projet à la rencontre annuelle du RRSSSN à Québec en 2023. À la suite de cette rencontre, on nous a proposé de faire un résumé vulgarisé des résultats clés sous forme d'une affiche ou une bande dessinée pour diffuser dans les centres de santé et de maternité au Nunavik. L'information dans le résumé pourra par la suite être utilisée pour développer des recommandations par les instances de santé publique puis être diffusée aux communautés au Nunavik.

1.8 Objectifs

L'objectif principal de cette étude était d'optimiser une recette traditionnelle à base de poisson pour améliorer les apports nutritionnels et minimiser l'exposition aux contaminants chez les femmes enceintes et allaitantes ainsi que les jeunes enfants. Cela s'est fait avec une approche expérimentale en testant les différents constituants de la recette, dont les eaux et les tissus des bouillons de poisson ainsi que des ingrédients clés qui peuvent y être ajoutés comme des algues, des moules, des myes et le LIF. Tous les ingrédients ont été obtenus grâce à différentes campagnes d'échantillonnage qui se sont produites au Nunavik. Alors, les résultats reflètent la nourriture consommée par les Inuits. Cette étude permet, en plus d'optimiser des recettes inuites telles que le bouillon à base de poisson,

de mieux comprendre la répartition des nutriments et des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques, la spéciation de certains éléments (Hg, As) et de considérer la bioaccessibilité des éléments dans les aliments traditionnels et les bouillons.

Le premier sous-objectif était de déterminer les concentrations de nutriments (K, Ca, Mg, Fe, Zn, Se) et de contaminants (THg, TAs, Cd) qui se trouvaient dans les constituants de la recette à base de poisson testée. Les constituants incluaient les tissus (muscle, joue, langue, cerveau) crus et cuits et les bouillons. Ce sous-objectif visait à avoir une meilleure compréhension du contenu nutritionnel et de la contamination potentielle de la recette lorsqu'elle est faite soit avec de la truite grise ou de l'omble de chevalier. Pour accomplir cet objectif, trois recettes de grosses truites grises ont été réalisées soit avec seulement le muscle, soit avec le corps entier ou soit avec le corps entier et une algue brune (*Alaria esculenta*). Pour l'omble chevalier, soit le muscle seul ou la tête seule ont été pris pour faire des recettes. Pour les deux espèces, les concentrations ont été analysées dans les tissus incluant le muscle et les différents constituants de la tête de poisson (joue, langue, cerveau). Finalement, pour déterminer si d'autres espèces pêchées au Nunavik comme l'omble de fontaine et le grand corégone pouvaient avoir des résultats différents, des échantillons de muscles crus ont été analysés et l'ensemble des espèces mentionnées plus haut ont été comparées. Selon la littérature, l'hypothèse émise était que les poissons seraient une bonne source de Ca, K, Fe et Se et qu'il y aurait un transfert partiel vers le bouillon. Seules les grosses truites grises devaient avoir des concentrations de Hg au-dessus des limites maximales recommandées pour les poissons commerciaux par Santé Canada. Puisque l'omble chevalier était la seule espèce marine, il était attendu que celui-ci aurait des concentrations en As plus élevées que les autres (Edmonds et al., 1993 ; Edmonds & Francesconi, 1987). Parmi les différences parties de la tête, on voulait regarder s'il y avait une différence dans la distribution des nutriments et des contaminants, car une étude montrait que le cerveau était plus riche en lipides que les muscles qui avaient plus de protéines. De plus, des études récentes montraient que les métaux comme le Hg et le MeHg semblaient avoir une

affinité pour les protéines tandis que l'As par exemple semblait avoir une affinité pour les lipides (Charette et al., 2021 ; Hong et al., 2014 ; Nong et al., 2021).

Le deuxième sous-objectif était de déterminer les concentrations de nutriments et de contaminants qui se trouvaient dans les ingrédients additionnels possibles, dont les algues, les moules et les myes et leur eau de cuisson. Ce sous-objectif visait à évaluer l'apport nutritionnel et la contamination potentielle présente dans ces ingrédients lorsqu'ils étaient bouillis. Pour accomplir l'objectif, chaque ingrédient a été bouilli et les tissus et leurs bouillons ont été analysés. Pour l'algue, celle-ci a été bouillie dans différentes conditions pour évaluer l'impact que cela pouvait avoir sur le transfert des nutriments et des contaminants de l'algue vers le bouillon. Les conditions étaient soit dans de l'eau milliQ (<18,2 M Ω /cm, MilliporeSigma™ Milli-Q™ Reference A+ System), de l'eau du robinet, de l'eau du robinet acidifié à un pH de 6,5 avec du jus de citron (ReaLemon®, 2 mL to obtain a pH level of 6.5) ou de l'eau avec du bouillon de poulet (Knorr® Bovril). Nous émettions l'hypothèse que les algues, les moules et les myes étaient une bonne source de Mg, Fe et Zn, que les algues étaient élevées en As et les bivalves en Cd et que les différentes conditions testées sur l'algue avaient un impact sur le transfert des nutriments et des contaminants.

Le troisième sous-objectif était de déterminer la concentration de Fe relâchée par le LIF. Nous avons soumis le LIF à différents scénarios de cuisson tels que dans de l'eau robinet seul ou dans de l'eau acidifiée avec du jus de citron pour obtenir des pH variant de 3,5 à 7,5. Nous émettions l'hypothèse que l'ajout du LIF contribuait de façon significative à la concentration en Fe du bouillon et que le LIF relâchait plus de Fe avec une quantité croissante de jus de citron.

Le quatrième sous-objectif était d'estimer la bioaccessibilité des nutriments et des contaminants dans les algues, les moules et les myes en utilisant une approche hybride in vitro développée par le laboratoire de Marc Amyot. Ce modèle a été optimisé pour estimer la quantité de Hg, mais nous voulions tester s'il peut être utilisé pour d'autres éléments. Le test de bioaccessibilité a été réalisé en changeant la température, le pH et les conditions enzymatiques et

d'agitation. Nous émettions l'hypothèse que le THg était peu bioaccessible tandis que le TAs l'était selon la littérature. Pour les autres éléments, l'hypothèse était qu'eux aussi étaient bioaccessibles et qu'en calculant le bilan de masse de chaque élément, les résultats nous indiqueraient si le test de bioaccessibilité fonctionne pour cet élément puisque la masse serait conservée tout au long du processus.

Le dernier objectif était de proposer une recette optimale. Le but était d'utiliser tous les résultats obtenus et de les combiner pour identifier la recette pouvant le mieux répondre aux besoins nutritionnels des femmes enceintes, puisqu'elles sont plus à risque pour développer des carences nutritionnelles. Nous voulions aussi une recette sécuritaire en termes d'exposition aux contaminants, puisque les femmes enceintes sont plus sensibles aux effets néfastes des contaminants comme le MeHg. Les résultats permettraient d'identifier les poissons et les parties de ces poissons qui fourniraient le plus de nutriments tout en minimalisant les risques d'exposition aux métaux et aux métalloïdes. De plus, les résultats détermineraient les ingrédients potentiels étudiés qui contribuent de façon significative à augmenter les apports de nutriments dans la recette sans augmenter significativement l'exposition aux contaminants.

Chapitre 2 : Optimization of recipes to improve nutritional intake and reduce metal(loid) exposure among Inuit women in Nunavik

Tania Groleau¹, Mélanie Lemire², Carole Beaulne³, José Gérin-Lajoie², Michael Kwan⁴, Dominic E. Ponton¹, Marc Amyot¹

¹Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada

²Département de médecine sociale et préventive, Centre de recherche du CHU de Québec, Institut de biologie intégrative et des systèmes, Université Laval, Québec, QC, Canada

³Régie régionale de santé et de services sociaux du Nunavik, Kuujjuaq ou Puvirnituq

⁴Centre d'Études Nordiques, Kuujjuaq Québec, Canada

Key words boiling effect, fish, mussel, clam, seaweed, bioaccessibility, metal(loid) speciation

Abstract

Inuit recipes are made with country foods that are a central part of their culture and contribute significantly to food security. Recipes are recommended for their different health benefits like a fish broth recipe said to help the baby's growth during pregnancy and with lactation. However, some country food can have high concentration of potentially toxic metal(loid)s such as mercury (Hg), arsenic (As) or cadmium (Cd), and it is unknown to what extent these are transferred to the broth. During pregnancy, there are higher risk of developing iron (Fe) and calcium (Ca) deficiencies. A simple way to optimize the nutrient content of recipes is by adding other ingredients like seaweeds, bivalves (mussels and clams) or a Lucky Iron Fish® known to be rich in these nutrients. To study the impact of food preparation on these ingredients and on potential nutrients and metal(loid)s transfer to the broth, all ingredients were boiled, and nutrient (potassium (K), Ca, magnesium (Mg), Fe, zinc (Zn), selenium (Se)) and metal(loid) concentrations were measured in the ingredients and their broths. Speciation was also performed for Hg and As as well as

bioaccessibility tests were done on seaweeds and bivalves. Most fish species were excellent sources (> 20% of the daily intake) of K, Mg, Zn and Se. Seaweeds and bivalves were excellent sources of Ca, Mg and Zn and bivalves were also excellent sources of Fe. The LIF was a potential source of Fe when it was preconditioned in water acidified to a pH level of 3.5 but it required a person to drink approximately 20 cups or 5 L of the broth per day to get Fe concentrations similar to those of the manufacturer. Although boiling did change certain nutrient concentrations in the tissues, barely any nutrients transferred to the broth with contributions less than 10% overall. Only lake trout muscles and cheeks presented total Hg concentrations above 0.5 µg/g (recommended limit in commercial fish) of which 90% was in its methylated form (MeHg), but there were low concentrations found in the broth. Hg speciation performed on the other ingredients found that less than 50% was MeHg. Total As was another contaminant that had high concentration in a few raw seaweeds and fish broths with the highest in lake trout broth. Speciation in seaweed revealed that 40% were arsenosugars (As-Sug) and 33% were arsenolipids (AsL). Speciation was also done on bivalves (<20% As-Sug, 66–73% AsL), lake trout (90% arsenobetaine (AsB)) and lake trout broth (90% AsB). Bioaccessibility tests done on seaweed and bivalves only worked for total Hg (25–50% released into the digestive juice, except for two seaweed samples at 75%), total As (40% for seaweed, 100% for bivalves) and Cd (100%). An optimal recipe would be made with a fish other than large lake trout, but the broths of large lake trouts are safe for consumption. Additionally, a few pieces of seaweeds and bivalves added to the broth and consumed entirely would improve the daily nutritional intake of the recipe.

Introduction

Traditional Inuit food, also known as country foods (CF), defined as animals and plants gathered from the local environment is central part of Inuit culture and contributes to food security (Allaire et al., 2021; Little et al., 2020). Although Inuit diets are composed of both CF and store-bought food, CF remains the more nutrient dense food and they significantly contribute to nutritional

intakes in the Nunavik region (Blanchet & Rochette, 2008 ; Gagné et al., 2012). Therefore, it is important to encourage and maintain the consumption of CF. An effective way is by sharing the traditional Inuit knowledge such as the use and preparation of certain local recipes made with CF (Inuit Tapiriit Kanatami, 2017).

Inuit recipes vary depending on the region and availability of CF. Many are suggested for their different health benefits such as a fish broth recipe recommended to pregnant and breastfeeding women because it is known by midwives and Inuit elders to help with the baby's growth and lactation (Lemire et al., 2019). Food insecurity is an important issue in Inuit communities, particularly during pregnancy, which notably contributes to iron (Fe) and calcium (Ca) deficiencies, with significant health consequences to the mother and the child (Balendran & Forsyth, 2021; Furgal et al., 2022; Pirkle et al., 2014). Indeed, a recent health survey in Nunavik found that 73% of the 30 pregnant women involved presented a Fe deficiency (Lavoie et al., 2021). Fe deficiencies are a significant worldwide public health issue and have prompted the development of health inventions such as iron tools in the form of fish, named the Lucky Iron Fish® (LIF), to enhance broths and soups with Fe (Armstrong, 2016; Charles, 2012). In addition to Fe and Ca, nutrients like potassium (K), magnesium (Mg), zinc (Zn) and selenium (Se) are essential for healthy pregnancies and child development (Cormick & Belizán, 2019; Hartfield, 2010; Kumssa et al., 2021; Mistry et al., 2014; Nielsen, 2018). Changing or adding CF ingredients in traditional recipes has been proposed as an example to optimize local recipes and help improve nutritional intakes (Lawn et al., 2004).

A report by Nunavik Regional Board of Health and Social Services (NRRHSS) (2023) explains that fish heads, fish skin and seaweed are a great source of Ca while bivalves (mussels and clams) and seaweed are great sources of Fe. Studies done on nutrient concentrations in CF in Nunavut reported as well that bivalves had elevated concentrations in Fe and Ca, but they also found that bivalves contained Zn and Mg and certain fish species such as the Arctic char (a species

frequently consumed and used in various recipes) had high concentrations of Ca, K and Mg (Kuhnlein et al., 2002 ; Kuhnleini & Soueida, 1992 ; Ministère de la Santé, 2013). These reports are mainly based on raw tissue, but nutrient concentrations can be impacted by the mode of preparation (drying, fermenting frying and boiling). Interestingly, a recent study reported that when fish tissues are boiled in water, between 12% and 27% of nutrients like K, Ca and Mg were transferred to the boiled broth (Amyot et al., 2023).

Other than nutrients, metal(loid)s like mercury (Hg) or even its methylated form methylmercury (MeHg) and certain arsenic (As) species like arsenobetaine (AsB), dimethylarsinic acid (DMA) and arsenic inorganic forms (arsenite (As(III)) and arsenate (As(V))) have been shown to transfer from food items into the broth during the boiling process (Cheyins et al., 2017; Devesa et al., 2001; George et al., 2008; Harris et al., 2003). While AsB is not known to be toxic, inorganic As, monomethylarsonic acid (MMA) and DMA have shown to exhibit toxic effects in elevated concentrations (Sattar et al., 2016; Sharma et al., 2014). There are other As species such as arsenolipids (AsL) and arsenosugars (As-Sug) that have been recorded during speciation analysis. However, not much is known about their toxic effect and some studies have classified them as potentially toxic (Reimer et al., 2010; Sharma et al., 2014). Exposure to potentially toxic metal(loid)s, particularly MeHg and inorganic As, during pregnancy or early in life have been associated with developmental issues in children (Adlard et al., 2021; Pirkle et al., 2016; Sattar et al., 2016; Tolins et al., 2014). Consequently, recipes leading to transfers of potentially toxic metal(loid)s into broths or soups are a concern to Inuit communities. These recipes include the fish broth commonly made with Arctic char, a marine species known to accumulate more As than freshwater fish, but also lake trout, a freshwater species known to accumulate high concentrations of MeHg, particularly in older and larger ones (Lemire et al., 2015, 2019; Lescord et al., 2022). The forms of As in fish species and bivalves have been documented to be primarily AsB while

seaweeds are dominantly As-Sug, but there is limited knowledge on the speciation of As in Arctic species (Almela et al., 2005; Edmonds et al., 1993; Lescord et al., 2022; Taylor et al., 2017).

Cadmium (Cd) coming from anthropogenic and natural sources is also a harmful metal of concern to the Inuit communities because it can accumulate in bivalves and in seaweed (World Health Organization, 2019). Bivalves such as mussels and clams have been reported to accumulate important levels of Cd in their gastrointestinal system by uptake through ambient (Bebiano et al., 1993; Choi et al., 2007; Riisgard et al., 1987; Serra et al., 1995). Although CF do not seem to be the main sources of Cd exposure in Nunavik, there have been high concentrations found in bivalves and seaweeds in other regions globally (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012; Lemire et al., 2021; Maehre et al., 2014; World Health Organization, 2019).

Another important process to consider is the absorption of nutrients and potentially toxic metal(loid)s by the gastrointestinal tract in the human body. Only a certain percentage of an element present in digested CF may be solubilized in the digestive tract and become bioavailable for absorption. Therefore, only a fraction of the CF elemental intake is contributing towards exposure. Bioaccessibility is defined as the quantity of elements that is released in aqueous form in the gastrointestinal tract during digestion and available for absorption through the bloodstream (Ruby et al., 1993). The quantity can be estimated with the use of a bioaccessibility test which simulates the digestion process in vitro by changing the temperature, pH and enzyme conditions (Koch et al., 2007; Laird & Chan, 2013; Ruby et al., 1993). Few studies have performed bioaccessibility tests and a study on CF in British Columbia found that Cd for certain clams and seaweed species were 100% bioaccessible whereas As and Hg were between 66 and 99% (Laird & Chan, 2013). To our knowledge, there has been none done on CF in Nunavik.

With the collaborative effort of Inuit communities, we here focus on how traditional Inuit recipes can be optimized using the fish broth recipe as an example. The optimization was done through the selection of fish species and the addition of other CF ingredients such as seaweeds,

mussels and clams or other non-CF ingredients such as the LIF to maximize nutrient intake while minimizing the risk of exposure to potentially toxic metal(loid)s. Speciation of Hg and As were also performed to further our understanding of the exposure risks. We also assessed the bioaccessibility of nutrient and potentially toxic metal(loid)s found in some of the potential ingredients like seaweeds, mussels, and clams.

Methods

Sampling methods

Ingredients such as fish (Arctic char (*Salvelinus alpinus*), lake trout (*Salvelinus namaycush*), brook trout (*Salvelinus fontinalis*), lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*)), seaweed (*Alaria esculenta*), mussel (*Mytilus edulis*) and clam (*Mya truncata*) listed in Supplementary Table 1 were collected with the help of Inuit colleagues and in partnership with four Inuit communities in Nunavik (Inukjuak, Kangiqsualujjuaq, Puvirnituk and Salluit). Fish were sampled with gill nets and muscle tissues were collected for all fish species. Heads were also sampled from Arctic char and a few lake trout individuals. Seaweeds, mussels and clams were sampled by hand. All ingredients were kept in sealed reusable plastic bags and stored at -20°C.

Cooking experiment methods

In total, 4 sets of experiments were conducted as listed in the Supplementary Table 2. In Puvirnituk, 9 large lake trouts were cooked in aluminum stove pots by Inuit community members for roughly 1 hour replicating the traditional cooking time of broth recipes using water locally available. They made 3 recipes, in triplicates: 1) 3 boiled lake trout without their heads, 2) 3 entirely boiled lake trout, and 3) entirely boiled lake trout with one piece of seaweed. Wet samples (4 ± 2 g) of muscle, brain, cheek, tongue and seaweed samples were collected afterwards to perform the laboratory analysis as well as broth samples (not filtered and filtered with a 0.45 µm disposable filter (Whatman GD/X25)) before and after cooking to observe the potential nutrient and metal(loid)

transfer. In the laboratory at Montreal, Arctic char heads and muscle samples (11 ± 3 g) were boiled using a 2 L acid-washed (nitric acid (HNO₃) 45%, hydrogen chloride (HCl) 5%, ACS-pur, Fisher Scientific) glass beakers on a hot plate (Nuova II Stir Plate, Sybron Brinkmann). The boiling time was 1 hour and, after cooking, the same samples as the lake trout were collected.

Seaweed samples (5 ± 2 g) underwent a similar treatment where 5 replicates were boiled in 1 L acid-washed glass beakers for 1 hour. However, to evaluate the potential effect on nutrient and metal(loid) release into the broth from the seaweeds, they were boiled in 4 different water conditions. They were boiled in MilliQ water (<18.2 M Ω /cm, MilliporeSigma™ Milli-Q™ Reference A+ System), tap water, tap water with lemon juice (ReaLemon®, 2 mL to obtain a pH level of 6.5) and tap water with chicken broth (Knorr® Bovril), an ingredient that is commonly added by Inuit in fish broth recipes. The MilliQ water allowed us to test the transfer effect in water that is both deionized and demineralized, whereas tap water with lemon juice can test for the acidity effect and tap water with chicken broth can test for salinity effect. Dehydrated crushed seaweed powder (0.5 mg) was also boiled to evaluate the potential nutrient and metal(loid) release into the broth. These conditions were not tested on any other ingredient due to a lack of sample size. Mussel (7.1 ± 0.3 cm in shell length) and clam (5.1 ± 0.4 cm in shell length) samples underwent the simple boiling treatment in tap water. In replicates of 5, they were boiled in 1 L acid-washed glass beakers for 5 minutes as per usual cooking guideline for these ingredients. Tissue and broth samples were collected before and after the ingredients were cooked for laboratory analysis.

Lastly, to test the potential Fe release from the LIF, initial tests were performed and found that when the LIF was preconditioned in lemon water (9 mL lemon juice in 1 L to get a pH level of 3.5), the Fe released was greater. In fact, the LIF needs to be in acidic water for Fe to dissolve into the water (Armstrong, 2016). Lemon juice was chosen as the acidifying agent because it is readily available at the store and commonly used in recipes. Once preconditioned, the LIF was boiled in triplicate in 1 L acid-washed glass beakers for 2 hours at varying pH levels ranging from

pH 3.5 to 7.5. Tap water had a pH of 7.5 measured with a pH meter (InLab 413/IP67, Mettler Toledo). The other pHs (6.5, 5.5, 4.5 and 3.5) were obtained by adding about 2 mL, 2.5 mL, 3 mL, 4 mL and 9 mL of lemon juice, respectively. Water samples before and every 15 minutes once the water was boiling was taken for Fe laboratory analysis.

Laboratory analysis

All tissue samples (fish, seaweed, mussel and clam) were lyophilized for at least 24 hours and homogenized with a glass mortar. All broth/water samples were preserved with 2% of concentrated HNO₃ (trace-metal grade, Fisher Scientific, purified by sub-boiling with Savillex DST-1000 purification systems) or 2% of concentrated HCl (trace metal grade, Fisher Scientific) for Hg analysis. All samples were kept at 4°C until analysis.

Total mercury (THg) was measured in dried tissues (10 mg) using a direct Hg analyzer (DMA-80, Milestone) at the University of Montreal. Analysis accuracy was tested every 10 samples using either DORM-2 (Fish protein; National Research Council of Canada, NRCC), DORM-4 (Fish protein; NRCC), SO-2 (soil; Canada Centre for Mineral and Energy Technology), TORT-3 (Lobster hepatopancreas; NRCC) or SRM-3232 (Kelp powder; National Institute of Standards and Technology) as certified reference materials and their recovery were 99%, 100%, 100%, 101% and 87% respectively (Supplementary Table 3). For water samples taken prior to boiling and broth samples from cooked seaweed (except the chicken broth scenario), 20 mL was digested overnight with 100 µL of bromine monochloride (BrCl) prepared as indicated in US EPA Method 1631. For all other broth samples, a 1 mL in 20 mL of Milli-Q water dilution was performed before the overnight digestion with 100 µL of BrCl. The next day, for all samples, 25 µL of hydroxylamine (ACS, Fisher Scientific), 25 µL of isopropanol (HPLC grade, Fisher Scientific) and 60 µL of stannous chloride (ACS, Fisher Scientific) were added to the samples and THg was measured using a cold vapour atomic fluorescence spectrometry (Tekran Series 2600, Tekran Instruments Corporation). Analysis accuracy was tested every 10 samples using DORM-4 for the

lake trout and C-19 (Mercury; Proficiency Testing Canada) for the rest as certified reference materials with recovery of 96% and 105% respectively (Supplementary Table 3). MeHg was analyzed according to the methods specified in Supplementary Methods and it was measured for all dried tissues and broth samples except for seaweed broth because the THg levels were too low to measure MeHg.

Other metals such as K, Ca, Mg, Fe, Zn, Se, total As (TAs) and Cd were measured in digested samples using an inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS/MS, 8900 Triple Quadrupole, Agilent Technologies) at the University of Montreal. Three digestion techniques were used depending on the type of sample. For broth samples, a 5 mL aliquot was taken and acidified with 25 μ L concentrated HCl and 50 μ L concentrated HNO₃ and digested on a hotplate (949038 HeatBlock IV, VWR Scientific) for 2 hours. For the fish muscles collected in 2019 and the bioaccessibility samples, tissues (10 mg to 15 mg) and liquid (0.2 mL) samples were digested with 600 μ L concentrated HNO₃ in a pressure steam sterilizer (50 X-120 V, All American) at 15–20 PSI for 3 hours. Once cooled, 150 μ L concentrated HCl and 250 μ L of hydrogen peroxide (H₂O₂, Optima grade, Fisher Scientific) was added to sample and left overnight. The other tissues (lake trout, Arctic char, seaweed, mussel and clam; 30 mg to 50 mg) were digested with 3 mL of concentrated HNO₃, 1 mL concentrated of HCl and 250 μ L of H₂O₂ in a microwave (Multiwave 5000, Anton Paar) for 1 hour. All tissue samples from both digestions were diluted to either 10 mL or 25 mL with Milli-Q water. Analysis accuracy was tested every 10 samples using either DORM-4, TORT-3, SRM-3232 or PTC (C02A metals in water, Proficiency Testing Canada) as certified reference materials and recoveries for all metal(loid)s were 78–146%, 82–104%, 85–107% and 99–116% respectively (Supplementary Table 3).

Speciation for As involves the analysis of different forms of As: the inorganic As forms (As(III) and As(V)) and the organic As forms (AsB, DMA, MMA, As-Sug, and AsL). Speciation was only performed on seaweed, mussel, clam and lake trout samples due to time constraints, but

future analysis should be performed on Arctic char and the broth of the ingredients other than lake trout. The analysis was performed following the protocol published in Amyot et al. (2023) with the addition of measuring the As-Sug and the AsL for the seaweed and bivalves.

Bioaccessibility was performed on 4 seaweed species (*Alaria esculenta*, *Fucus sp.*, *Laminaria digitata* and *Saccharina latissimi*) bought from Océan de Saveurs in Gaspésie and on the mussels and clams collected in Nunavik. New seaweed samples were collected because there was not enough sample from Nunavik. We wanted to test bioaccessibility of Fe on the potential new ingredients (seaweed and bivalves) because they have been reported to have high Fe levels and could help with Fe deficiencies. Although Fe was the target element, many more elements of interest were measured using the methods described in Supplementary Methods.

Statistical and data analysis

Nutrient and toxic metal(loid) concentrations in all ingredients were presented in micrograms per gram wet weight ($\mu\text{g/g ww}$) whereas in the broth, they were presented in micrograms per litre ($\mu\text{g/L}$). Normality and homogeneity of variance were checked for nutrient and toxic metal(loid) concentrations for all grouped samples using Shapiro-Wilk normality tests and Levene's test. When needed, values were \log_{10} -transformed to respect normality. When data met normality criteria and homogeneity of equal variance assumptions, an analysis of variance (ANOVA) with Turkey's HSD post-hoc test was performed. When normality was not met even after being \log_{10} -transformed, a Kruskal-Wallis ANOVA with Mann Whitney U Test was performed. All tests were performed in RStudio with R version 4.2.2 and had a significance level (α) set to 0.05.

For nutrients, the concentration along with Health Canada's Dietary Reference Intakes for pregnant women were used to estimate the percentage of daily requirements met by consuming each potential ingredient in a realistic scenario (100 g for seaweeds, mussels or clams (about 20

mussels/clams for a meal) and 250 g for a fish meal). Percentages of daily requirements provided by each ingredient were calculated as

$$\frac{\text{portion} * [\text{nutrient}]}{\text{RDA}} * 100 \quad (1)$$

where portion (g ww) refers to the portion of ingredients consumed for one meal, [nutrient] ($\mu\text{g/g}$ ww) represents the nutrient concentrations found in the tissue of the ingredient (prior and after boiling when relevant), RDA represents the recommended dietary allowance (RDA ; μg) for pregnant women established by the Canadian government for Ca, Mg, Fe, Zn and Se (Health Canada, 2010; Institute of Medicine, 2006). In the case of K, the adequate intake (AI) value updated in 2019 was used (Health Canada, 2023). The contribution of broths to daily requirements were also estimated using a similar formula, but it was done for portion equivalent to a cup of 250 mL using [nutrient] ($\mu\text{g/L}$) found in a realistic scenario of a 5 L broth recipe. Additionally, we applied a correction factor for the amount of tissue that was boiled in the water as the mass boiled varied from ingredients and we wanted to standardize for 100 g of seaweed and bivalves and 250 g for fish tissues. An excellent source was when the percentages exceeded 20% and a good source was between 10 and 20%. Potentially toxic metal(loid) concentrations (THg, TAs, Cd) in tissues were compared to the recommended maximum reference value (RMRV) by the Canadian Government (or European Commission) in various tissues (European Commission, 2021; Health Canada, 2007, 2022). The recommended maximum reference values were established by Health Canada for metal(loid) known to exhibit harmful effect on human health and in an effort to help reduce exposure. They are based on the average concentration of the metal(loid) found in a particular ingredient and the consumption rate of that food. Additionally, the hazard quotient (HQ) based on the estimated daily intake (EDI) and provisional tolerable daily intake (pTDI) were calculated for the tissues and broths as explained in the Supplementary Methods.

Results and discussion

Concentration of nutrients in raw ingredients

Nutrient concentrations were measured in raw ingredients (Figure 1). K average levels varied between 1000 and 4800 $\mu\text{g/g}$ ww, with highest values recorded in Arctic char and lake trout. These values were 1.5 to 4 times higher than the other ingredients and were not significantly different with most fish species measured in the study (Supplementary Fig. 5). Ca levels varied slightly less with average values around 1500 $\mu\text{g/g}$ ww found in seaweeds, between 250 and 500 $\mu\text{g/g}$ ww found in bivalves (mussels and clams) and less than 100 $\mu\text{g/g}$ ww on average in fish species except for some brook trout samples presenting higher Ca concentrations (Supplementary Fig. 5), likely due to some of the bone being analyzed with the sample. Mg and Fe concentrations were highest in seaweeds and bivalves with average values between 500 and 650 $\mu\text{g/g}$ ww for Mg and 50 and 125 $\mu\text{g/g}$ ww for Fe, which was particularly high in mussels, followed by clams. Zn levels were 2 times higher in bivalves and fish when compared to seaweeds with average levels of 10 $\mu\text{g/g}$ ww. Se concentrations were at least 20 times higher in bivalves and fish (0.20 to 1.39 $\mu\text{g/g}$ ww) when compared to seaweeds (0.01 to 0.03 $\mu\text{g/g}$ ww). A study by Kuhnlein et al. (2002) in the Nunavut region looked at raw tissue from Arctic char and lake trout and found similar Ca levels but lower Fe, Mg, K and Se levels. Another study conducted by Kuhnleini & Soueida (1992) on raw bivalves and seaweeds in the Nunavut region observed lower Ca, Fe, Zn and Mg levels when compared to our results. The difference could be attributed to their results being based on a sample size of 1 whereas we had at least 5 samples and the region the samples were collected. Overall, the results show that fish species have more K, while seaweeds have more Ca and bivalves have more Fe and Zn. Seaweeds and bivalves have the highest concentration for Mg, but bivalves and fish have the highest for Se. Thus, adding mussels, clams and seaweeds to the broth's recipe offers complementary sources of nutrients.

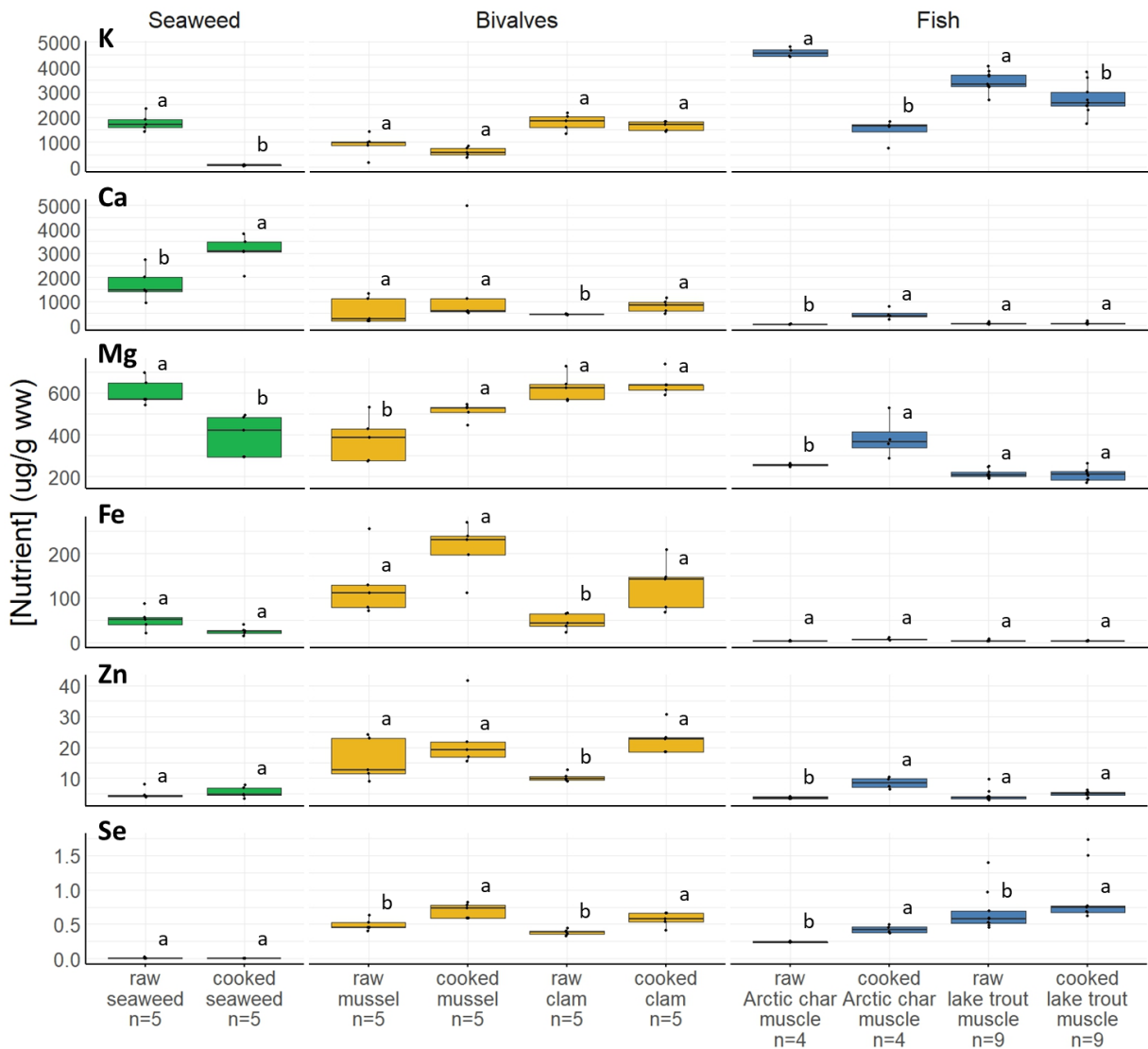


Figure 1. Concentrations of nutrients in various raw and cooked tissues (µg/g ww) boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means within each ingredient group.

Concentration of potentially toxic metal(loid) in raw ingredients

Potentially toxic metal(loid) concentrations, namely THg, TAs and Cd, were also measured in ingredients (Figure 2). Most of the ingredients are below the RMRV for commercial species set by the Canadian Government for THg (0.5 µg/g ww) and TAs (3.5 µg/g ww) as well as the one set by the European Commission for Cd in fish (0.05 µg/g ww) and in bivalves (1 µg/g ww) (European Commission, 2021; Health Canada, 2007, 2022). Exceptions were observed in larger lake trouts

where THg concentrations were all above the RMRV and two raw seaweed samples for TAs concentrations.

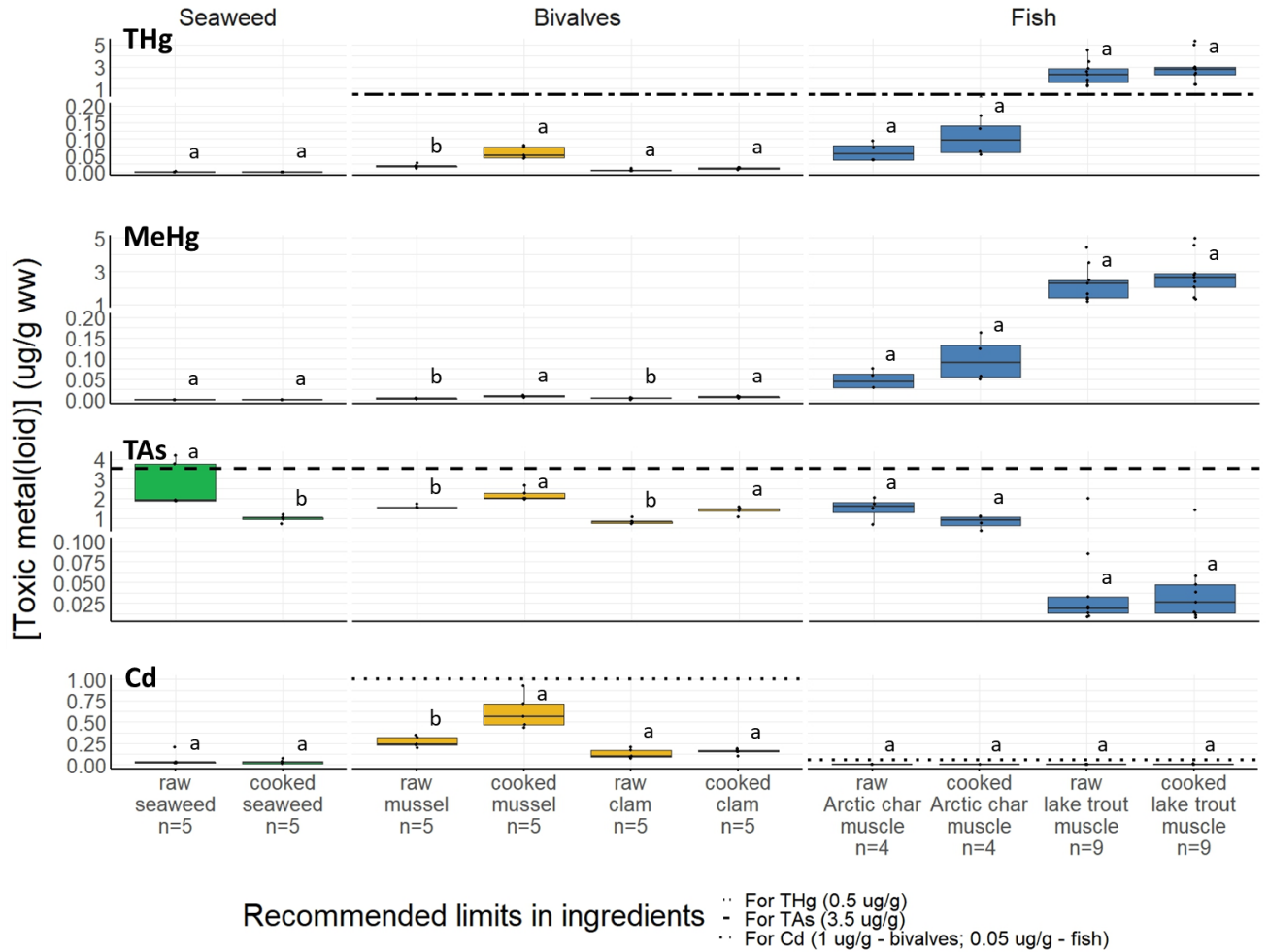


Figure 2. Concentrations of toxic metal(loid)s in various raw and cooked tissues ($\mu\text{g/g ww}$). Different letters represent significantly different means within each ingredient group. The recommended limits represent the maximum reference value recommended by the Canadian government (or European for Cd) for the various commercial tissues.

THg concentrations were generally the highest in larger lake trout (individuals weighing more than 0.5 kg, $n=43$). Larger lake trouts are well known to have higher THg concentrations and our results are consistent with previous data in Nunavik (Lemire et al., 2015). In fact, of the 43 larger individuals, more than 67% ($n=29$) of them had concentrations above $0.5 \mu\text{g/g ww}$, with the

maximum value of 5.3 $\mu\text{g/g}$ ww, of which 93.4% was MeHg (Supplementary Fig. 7). Hg found in all raw fish muscles was more than 93% in its methylated form except for raw Arctic char muscles (81%) (Supplementary Table 4). MeHg proportions were lower in mussels (13%), clams (49%) and seaweeds (8%) (Supplementary Table 4). Additionally, the health risks were assessed for each ingredient using the HQ based on the pTDI for pregnant women and reflecting the risk of exposure if the ingredient is consumed daily. When estimating the HQ, large lake trouts had the highest with values above 50 further supporting the idea that large lake trout could pose a potential risk for pregnant women (Supplementary Table 5).

The different parts of fish head are commonly consumed and represent a delicacy for Inuit. The cooked tongue and brain (since no tissues were taken while raw) were found to have significantly less THg (less than 0.002 $\mu\text{g/g}$ ww for Arctic char and 0.154 to 0.640 $\mu\text{g/g}$ ww for lake trout) and MeHg when compared to muscles and particularly cheeks with concentrations between 0.03 and 0.3 $\mu\text{g/g}$ ww in Arctic char and well above 1.0 $\mu\text{g/g}$ ww in lake trout, which is twice the RMRV for commercial fish (Supplemental F9). Recent studies done on biodistribution of MeHg, the dominant form of Hg in fish, within the muscles and other organ tissues have shown that it has a strong affinity to protein-rich tissues such as muscles and cheeks (Amlund et al., 2007; Charette et al., 2021; Harris et al., 2003; Leaner & Mason, 2004; Nong et al., 2021; Peterson et al., 2009). However, brain has been reported to have a higher lipid content when compared to the muscle (Hong et al., 2014). The difference in protein and lipid content of our tissues could affect their bioaccumulation of metal(loid)s within each (Johnston, 1975). Thus, our results suggest that tissues with higher lipid content hold less Hg and we can infer that in fish species with high THg concentration, the tissues with higher protein content such as muscles and cheeks may lead to higher exposure towards humans.

Seaweeds are marine organisms and there is a general expectation that the marine ecosystem globally has higher As concentrations (Edmonds & Francesconi, 1998). The present

study shows that seaweeds were found to have high TAs concentrations with two of the five samples exceeding the RMRV of 3.5 $\mu\text{g/g}$ ww (Figure 3). This statement is further supported when comparing other marine species (bivalves, Arctic char) which presented TAs concentration at least 10 times higher than the freshwater fish species, with the exception of one lake trout sample that had TAs concentration around 2 $\mu\text{g/g}$ ww, although TAs remained below the RMRV (Figure 3 and Supplementary Fig. 7). Usually, TAs analyses are conducted mainly on muscle tissue, but we also analyzed other types of tissues found in the head. Arctic char cheeks, tongue and brain were at least 0.5 times higher in TAs than the same tissues in lake trout except for the cheeks of the lake trout individual with 2 $\mu\text{g/g}$ ww of TAs in its muscle (Supplementary Fig. 9). There was no significant difference observed between the different head parts of lake trout and only the brain and the cheeks of Arctic char were significantly different (Supplementary Fig. 9). TAs has been shown to be sometimes linked to the lipid fraction in fish muscle, but our results show no strong organotropism towards lipid-rich tissue such as the brain (Charette et al., 2021). Measuring the lipid content in the tissue could help understand if As actually links to the lipid fraction in marine fish species.

Elevated TAs concentration is not an indication of potential As toxicity since As can present itself in different forms, some of which known to be toxic (As(III), As(V), MMA, DMA) while one is non-toxic (AsB). Thus, we measured the speciation of As in raw tissues (seaweed, mussel, clam, lake trout), cooked tissues (clam, lake trout) and in lake trout broth. In seaweeds, As was found to be 73% in organic form with roughly 40% as As-Sug and 33% as AsL (Supplementary Table 5). Clams and mussels were 80–85% organic As with around 66–73% as AsL and fewer than 20% as As-Sug (Supplementary Table 5). Lake trout As was over 90% AsB and the broth showed similar results (Supplementary Table 5). Overall, for all ingredients, there was less than 4% of As in its toxic forms (As(III), As(V), MMA, DMA) (Supplementary Table 5). Bivalves and seaweeds were the only ingredients to have As mainly as As-Sug and AsL, but the few studies that investigated the toxicity on these two forms found they could potentially exhibit toxic effects on

humans (Andrewes et al., 2004; Cherry et al., 2019; Erickson et al., 2019; Feldmann & Krupp, 2011).

Bivalves had the highest Cd concentrations with values above 0.19 µg/g ww, but they were below the RMRV of 1.0 µg/g. A recent health survey conducted in Nunavik showed that exposure to Cd among Inuit adults was primarily related to smoking habits, as tobacco contains high levels of Cd and smokers were reported to have blood Cd levels sevenfold higher than non-smokers, while bivalves did not seem to have a major contribution to exposure since bivalves were not consumed very frequently at the time of the survey (Lemire et al., 2021). Additionally, when assessing HQ, the Cd values for bivalves were below 1 indicating low risk exposure if consumed daily (Supplementary Table 5). However, if their consumption were to increase, the Cd exposure levels should be more closely monitored.

Effect of food preparation on the ingredients

The elemental concentrations were compared between the raw and cooked tissues to further investigate the influence of boiling. Three patterns emerged (Figures 1 and 2): a decrease, an increase, or the concentration remained similar after the boiling process. In seaweeds, boiling induced a significant decrease in K, Mg and TAs and a significant increase in Ca. Mussels had a significant increase in Mg, Se, THg, MeHg, TAs and Cd and similarly, clams had a significant increase in Se, MeHg, TAs, Ca, Fe, and Zn. Fish had a significant decrease in K and a significant increase in Se. Boiling did not influence the other elemental concentrations in the ingredients. Cooking, especially boiling, can induce chemical composition changes that will influence the concentration of nutrients and metal(loid)s. These changes can potentially allow more water-soluble nutrients like K to leach out during the cooking process and nutrients more linked to the seaweed tissue like Ca and Mg to remain in the ingredient (Korus, 2020; Puupponen-Pimiä et al., 2003). In seaweed tissues, Ca concentrations increased by at least 50% whereas, interestingly, Mg was found to leach out with 25% concentrations decrease. When ingredients, in particular

vegetables, are added to hot water and cooked for a certain time, this process is called blanching. Long-term blanching has been shown to cause a significant loss in phytochemical properties which could lead to a potential solubilization of nutrients that would otherwise be bound to tissue (Jaiswal et al., 2012; Swaminathan, 2003). Additionally, seaweeds are composed of more carbohydrates than protein which could explain the difference observed between seaweeds versus bivalves and fish (Circuncisão et al., 2018; Ruperez, 2002; Salehi et al., 2019).

Significant increases of Se were observed in bivalves and in fish. Se can be part of amino-acid that forms proteins with cysteine-rich residues or selenol (a cysteine analogue) which can bind metals present such as Hg and MeHg (Amyot et al., 2023; Bernabeu De Maria et al., 2023; Burger et al., 2003; Charette et al., 2021; Costa et al., 2013). Our results show a Hg and Se increase in cooked bivalve tissues but not significantly in fish muscles. The concentration increase can be attributed to a loss of water that occurs during the boiling process. Boiling has been documented to cause denaturation of protein and collagen leading to a release of water causing a decrease of wet weight mass and an increase in concentration of metal(loid)s associated with proteins (Amyot et al., 2023; Nygård, 2019; Tornberg, 2005).

Similar to Mg, TAs concentrations decreased by at least 50% in seaweeds but increased by 33% in bivalves and remained steady throughout the boiling process in fish. Contrary to our results, other studies have shown that bivalves lose TAs during steaming processes (Cheyins et al., 2017; Devesa et al., 2008; Lai, 2004). Studies conducted on cooked fish have reported TAs to be decreasing and in other cases to be increasing when compared to raw fish (Amyot et al., 2023; Cheyins et al., 2017; Devesa et al., 2008). Devesa et al. (2008) explained that the increase in TAs can be attributed to a loss or release of water during the cooking process and the decreases are caused by solubilization and volatilization of TAs. However, the study by Devesa et al. (2008) evaluated only TAs concentration and not the different As species. A study by Cheyins et al. (2017) estimating the quantity of As in the food and their broth found that generally inorganic As was

released more easily than organic species. These results show that the type of ingredients can play a significant role in the quantity of metal(loid)s that remains in the tissue and the species.

Nutrient and metal(loid) concentrations in cooked broth

Nutrient concentrations were measured in the broth for each boiled ingredient (Supplementary Fig. 1). Most broths were found to have higher nutrient concentrations than what was measured in the water prior to cooking. However, some exceptions were seen for Ca and Mg. Arctic char broth had similar Mg concentrations when compared to tap water prior to cooking indicating that Mg was not readily released during the cooking process. These results would support the idea that Mg concentration increase in fish muscles could potentially be due to a tissue water loss occurring during the boiling process.

Seaweed and lake trout broths lost at least 20% of Ca compared to tap water before cooking whereas bivalve broths increased by at least 20% in Ca. Seaweed broth decrease could be due to uptake of Ca by the ingredient since when cooked in tap water, seaweed Ca level increased significantly as compared to when cooked in Milli-Q water (where Ca concentration are low) (Supplementary Fig. 3). Some studies reported that in hard water conditions (similar to what is found in Montreal), vegetables like seaweeds can uptake nutrients like Ca during the cooking process (Hall & Edwards, 1989; Puupponen-Pimiä et al., 2003). There could be a similar process occurring with lake trout, but the concentration in the tissue remained stable and Arctic char broth Ca levels were not significantly different from the tap water.

Seaweed tissues boiled in different conditions had a significant impact on nutrient concentrations found in the broth (Supplementary Fig. 3). When seaweed was boiled with lake trout muscles, the broth had the highest nutrient concentrations except for Ca indicating that lake trout muscles contributed significantly to the nutrient content (Supplementary Fig. 1). Seaweed boiled with chicken broth also provided higher nutrient content. Increasing acidity did not impact nutrient

release since the concentrations are similar to tap water except for Zn and for Fe (Supplementary Fig. 3). Therefore, changing the water conditions for seaweed does not allow more nutrient to leach out from this ingredient during the boiling process, but adding other ingredients does increase the nutrient content of the broth.

Metal(loid) concentrations were measured in the broth (Supplementary Fig. 2). THg and MeHg concentrations did increase slightly when compared to the tap water prior to cooking, but remained below the RMRV for Hg in potable water of 1 µg/L (Health Canada, 1986). Cd concentrations in the broth also remained below the RMRV in potable water of 7 µg/L with the exception of one lake trout sample (Health Canada, 2020). As for TAs concentrations, most of the broths were slightly above the RMRV of 10 µg/L for TAs, with some lake trout broths exceeded 100 µg/L (Health Canada, 2006). Fortunately, As speciation in lake trout broths revealed that over 90% of the As present was AsB, which is non-toxic meaning the broth is safe for consumption by pregnant women (Supplementary Table 5). As speciation should be estimated in the other types of broth, but if the speciation is similar to the tissues, seaweed and bivalve broths should be mainly As-Sug and AsL.

Ingredient contribution towards nutrient daily requirements

The contribution towards the daily requirement of a pregnant woman for K, Ca, Mg, Fe, Zn or Se are presented as percentages for each ingredient (Table 2) and the different head parts for both fish species (Supplementary Fig. 8). The cooked fish parts were estimated to be exceptional sources (>100%) of Se and excellent sources (>20%) of K, Mg and Zn, but they contributed less than 5% to Ca and less than 15% to Fe intakes. However, Arctic char cooked muscles contributed significantly more to Ca (11%), Mg (28%), Fe (7%) and Zn (48%) intakes than lake trout while the former contributed almost twice more to Se intakes. When looking at the different head parts in both species, there was a clear trend observed where more protein-rich tissue like muscles and cheeks, contributed at least 20% more in K, Mg and Se compared to the brain.

Pregnant women have a greater risk of developing nutrient deficiencies such as Fe and Ca; therefore, we investigate the nutrient contribution of other CF like seaweeds, mussels, and clams if portions of 100 g were consumed. The results in Table 2 show that cooked seaweeds were good sources (10–20%) of Mg (11%) and excellent sources of Ca (31%) and Zn (70%) but not that much for Fe (9%). Cooked mussels were found to be excellent sources of Fe (78%), Zn (78%) and Se (117%), and cooked clams were excellent sources of Fe (48%), Zn (82%) and Se (95%). The cooked mussels were also good sources of Ca (16%) and Mg (15%) and the cooked clams were also good sources of Mg (18%). Interestingly, when comparing our results to a nutritional fact sheet done on Inuit's CF found in Nunavut reported by the Health Ministry (2013), our bivalves had a higher nutritional contributions for some nutrients while our seaweeds had similar nutritional contributions. They reported that for portions of 100 g, bivalves would provide at least 25% of the daily requirement for Mg, Fe, Zn and Se and our bivalves provided more than 75% of the daily requirement for Fe, Zn, and Se. As for seaweeds, they used portions of 40 g, but still obtained results similar to ours where they report seaweeds contributed less than 25% to intakes of Mg and Fe. According to our results, cooked seaweed would be an excellent source of Ca and Zn and cooked bivalves would be excellent sources of Fe, Zn and Se.

Even though these ingredients are globally great sources of nutrients, the nutrients did not transfer well into the broth with contributions of less than 3% estimated for K, Ca, Fe and Zn intakes and 6% for Mg and Se intakes (Table 2). Apart from lake trout broth, with marginal contributions to nutrient intakes, the nutrient concentrations with the different ingredients in the broth were not much higher than what was observed for tap water (Supplementary Fig. 1). However, many nutrients were not measured in the broth. In fact, when boiling the bivalves and fish, there was visual evidence that lipids, potentially rich in omega-3 polyunsaturated fatty acids, could be found in large concentrations. Marine organisms are known to be high in omega-3 and certain lipophilic

vitamins which could easily transfer to the broth (Blanchet et al., 2000). Future studies should investigate the other nutrients that are present in the broth.

Table 2. Mean values \pm standard deviations for the percentage towards daily intake (%) of various nutrients in pregnant women for the different ingredient's tissues and their broths not filtered (NF) and filtered (F) with a 0.45 μ m filter. Contributions were calculated using either 100 g (1) or 250 g (2) for the tissues and a 250 mL glass for the broth.

Ingredients		K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)	Zn (%)	Se (%)
Tissue							
Seaweed ¹ n=5	Raw	6.18 \pm 1.19	17.14 \pm 6.84	17.29 \pm 1.85	18.70 \pm 9.04	33.91 \pm 4.84	2.10 \pm 1.52
	Cooked	0.26 \pm 0.09	30.86 \pm 6.63	11.36 \pm 2.80	9.30 \pm 3.70	70.32 \pm 19.28	0.95 \pm 0.26
Mussel ¹ n=5	Raw	3.07 \pm 1.57	6.21 \pm 5.55	10.85 \pm 3.10	47.58 \pm 27.73	109.73 \pm 52.48	81.88 \pm 14.86
	Cooked	2.10 \pm 0.64	15.61 \pm 19.29	14.62 \pm 1.13	77.58 \pm 22.54	77.92 \pm 30.92	116.74 \pm 18.28
Clam ¹ n=5	Raw	6.16 \pm 1.14	4.52 \pm 0.25	17.86 \pm 1.93	17.11 \pm 6.88	71.78 \pm 5.92	63.87 \pm 7.45
	Cooked	5.68 \pm 0.65	8.06 \pm 2.66	18.39 \pm 1.61	47.55 \pm 21.21	81.77 \pm 15.92	95.00 \pm 17.54
Arctic char ² n=4	Raw	39.50 \pm 1.62	1.21 \pm 0.13	18.27 \pm 0.49	2.96 \pm 0.50	34.51 \pm 5.21	100.83 \pm 4.67
	Cooked	12.68 \pm 4.14	11.38 \pm 5.65	27.60 \pm 7.25	6.57 \pm 2.47	47.52 \pm 9.53	176.98 \pm 24.31
Lake trout ² n=9	Raw	29.53 \pm 3.57	2.00 \pm 1.02	15.04 \pm 1.57	3.14 \pm 1.64	40.00 \pm 16.46	293.38 \pm 144.71
	Cooked	23.55 \pm 5.57	1.73 \pm 0.78	14.35 \pm 1.83	2.53 \pm 0.36	37.34 \pm 6.72	341.42 \pm 141.23
Broth							
Seaweed n=5	Broth (NF)	0.54 \pm 0.02	1.59 \pm 0.20	3.36 \pm 0.38	0.37 \pm 0.24	0.10 \pm 0.04	0.27 \pm 0.03
	Broth (F)	0.56 \pm 0.02	1.56 \pm 0.31	2.51 \pm 0.24	0.05 \pm 0.01	0.04 \pm 0.02	0.27 \pm 0.06
Mussel n=5	Broth (NF)	0.65 \pm 0.03	3.07 \pm 0.11	4.35 \pm 0.51	0.24 \pm 0.11	0.58 \pm 0.11	4.94 \pm 2.16
	Broth (F)	0.65 \pm 0.03	2.99 \pm 0.12	3.73 \pm 0.54	0.08 \pm 0.03	0.20 \pm 0.02	4.35 \pm 1.87
Clam n=5	Broth (NF)	0.88 \pm 0.02	3.17 \pm 0.17	5.58 \pm 0.55	0.43 \pm 0.12	0.49 \pm 0.10	4.55 \pm 1.21
	Broth (F)	0.78 \pm 0.01	3.01 \pm 0.11	4.49 \pm 0.51	0.12 \pm 0.03	0.27 \pm 0.07	3.57 \pm 1.02
Arctic char n=4	Broth (NF)	0.08 \pm 0.02	0.11 \pm 0.02	3.08 \pm 0.72	0.0005 \pm 0.0001	0.004 \pm 0.001	0.04 \pm 0.001
	Broth (F)	0.08 \pm 0.02	0.10 \pm 0.003	3.21 \pm 0.94	0.0001 \pm 0.0001	0.0003 \pm 0.0001	0.03 \pm 0.004
Lake trout n=6	Broth (NF)	1.50 \pm 0.63	0.16 \pm 0.08	0.61 \pm 0.21	1.78 \pm 1.51	0.0004 \pm 0.0003	4.73 \pm 3.35
	Broth (F)	1.24 \pm 0.68	0.12 \pm 0.07	0.52 \pm 0.24	0.18 \pm 0.17	0.0002 \pm 0.0002	3.04 \pm 2.20

To help improve Fe content in the broth, non-CF ingredients such as the LIF may be added. In the present study, when boiled independently of the food ingredients for 1 hour in a 5 L pot and a cup of 250 mL of broth is consumed, the quantity of Fe in that cup is less than a commercially available supplement providing 10 mg (Figure 3). To further deepen our understanding of the Fe transfer towards the broth, multiple pH levels were tested using different quantities of lemon juice and our results showed that there was less than 2 mg of Fe found in a 250 mL cup of broth except for pH 3.5. Thus, a person would need to consume 20 cups or roughly 5 L of the broth at pH levels between 4.5 and 6.5 to acquire the same amount of Fe found in a commercial supplement or in 1.5 L of the lake trout broth. The LIF was designed to supplement broth or soups with Fe and is advertised to release 6 to 8 mg/L when cooked for 10 minutes in water with a pH level of at least 6.5 (Armstrong, 2016; Charles, 2012). However, our results show that the LIF released only 2 to 4 mg of Fe when consuming 1 L of broth at pH levels between 4.5 and 6.5 when boiled for 1 hour with the LIF. Moreover, these results were only obtained after the LIF had been conditioned in water acidified to pH of 3.5 which is not a step that someone cooking with the LIF at home will do. Our results were also done in a controlled setting with just the LIF in the 1 L beaker, maybe with more testing such as different acid sources, water conditions or when cooked in an actual soup it could potentially release more Fe.

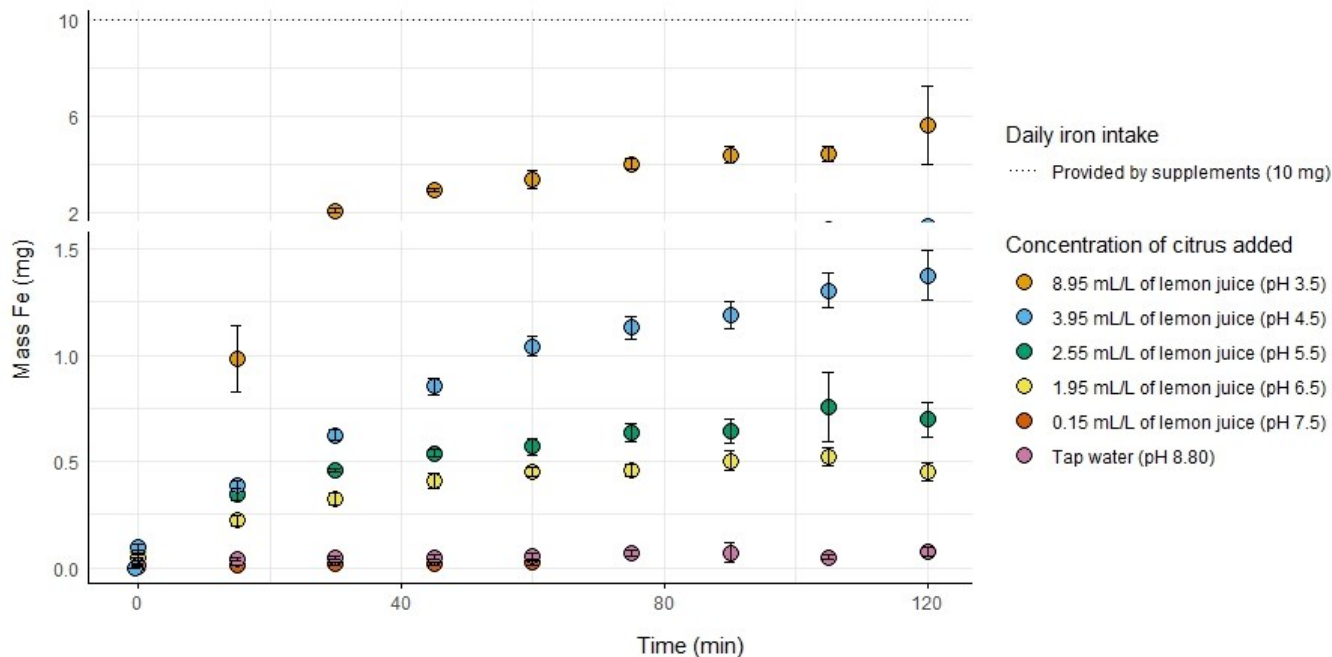


Figure 3. Mass of Fe in a 250 mL cup released by the LIF when cooked for 2 hours with different pH levels.

Bioaccessibility of elements in ingredients

Bioaccessibility tests were performed to estimate the amount of nutrients and potential toxic metal(loid)s released from seaweeds and bivalves during the digestion process. Unfortunately, the test did not work for the nutrients as our mass balances revealed that the enzymes used strongly contributed to the nutrient content we were measuring. Fortunately, we were able to measure the bioaccessibility of the potential toxic metal(loid)s (Supplementary Fig. 10). Our results showed that, during the digestion process, between 25% and 50% of THg (except for two seaweed samples that were around 75%) was released into the digestive juice and have the potential to be absorbed through the gastrointestinal tract (Supplementary Fig. 10). Around 40% of TAs from seaweeds and 100% of TAs from bivalves was released whereas 100% of the Cd was released into the digestive juices from both ingredients (Supplementary Fig. 10). Our results are the first bioaccessibility data available for these CF ingredients in Nunavik, but there have been studies done in other areas in Canada. A study by Koch et al. (2007) from Nova Scotia measured TAs and its bioaccessibility in clams and seaweeds. They found that 34% to 46% of TAs in clams and 63% to 81% in seaweeds

became bioaccessible with the majority in inorganic form. Their results are slightly different than ours, but the bioaccessibility methods are not the same and they measured different As species where we only investigated TAs. Speciation is an important factor to consider for future bioaccessibility studies as there are reports showing for example that 80% of As-Sug in raw and cooked seaweeds are bioaccessible and that AsL may have a strong potential to be absorbed (Almela et al., 2005; Bornhorst et al., 2020).

We did not measure the bioaccessibility of elements in fish, but a few studies have estimated MeHg to be 40% bioaccessible during the digestion process (Afonso et al., 2015; Charette et al., 2021; Girard et al., 2018; Liao et al., 2020). TAs and Cd have also been estimated to be 30% bioaccessible in fish (Laird & Chan, 2013). Most of these studies were performed on raw tissue, but a few studies have shown that cooking could decrease the bioaccessibility potential of toxic metal(loid)s like Hg, As and Cd (He et al., 2010; Torres-Escribano et al., 2011). We did not observe any significant difference between raw and cooked tissue for bivalves except for TAs in mussels during the gastric phase. Our data only investigated some ingredients, but not all tissue may react the same and the fish in Nunavik should be considered.

Conclusion

In general, most fish species contributions were similar in nutrient content, but differences were seen in the potential toxic metal(loid) concentrations. Large lake trout had the highest THg concentrations. If it is the only species available at that time, which is common in winter months in Nunavik, a fish broth could be made preferably with smaller individuals or the fish muscles and cheeks could be discarded for pregnant women, as there were low concentrations of THg found in the broth. Arctic char and other fish species studied had lower THg concentration when compared to lake trout and would be a great alternative to use in the broth recipe. Arctic char meat did have higher TAs concentrations, but As speciation analyses should be performed to determine which As species are predominantly available. Lake trout broth did have very high Tas concentrations, but

speciation analysis showed that it is mainly AsB and the broth would be safe for consumption. All fish tissues did not represent a significant source of Fe and Ca, except for brook trout due to the presence of bones. Our results show that adding other CF ingredients to the broth recipe such as seaweeds and bivalves may be an interesting solution to increase its nutritional content. Seaweeds were good sources (10–20% of the daily intake) of Mg and Fe and excellent sources (>20%) of Ca and Zn whereas bivalves were good sources of Mg and Ca (only mussels) and excellent sources of Fe, Zn and Se. Conversely, in most cases, there were low concentrations of nutrients measured in the broth, even when adding the LIF. Thus, the CF ingredients added to the recipe should be consumed entirely (except lake trout when used) to maximize nutritional intakes. The broth may be low in the nutrient that we chose to measure, but there are other beneficial nutrients that could potentially transfer to the broth such as omega-3 polyunsaturated fatty acids and lipophilic vitamins that are known to be high particularly in CF in Nunavik (Blanchet et al., 2000). Future studies should investigate the bioaccessibility of the nutrients in the recipe and other types of nutrients that could be found in the broth.

Bibliography

- Adlard, B., Lemire, M., Bonefeld-Jørgensen, E. C., Long, M., Ólafsdóttir, K., Odland, J. O., Rautio, A., Myllynen, P., Sandanger, T. M., Dudarev, A. A., Bergdahl, I. A., Wennberg, M., Berner, J., & Ayotte, P. (2021). MercuNorth – monitoring mercury in pregnant women from the Arctic as a baseline to assess the effectiveness of the Minamata Convention. *International Journal of Circumpolar Health*, 80(1), 1881345. <https://doi.org/10.1080/22423982.2021.1881345>
- Afonso, C., Costa, S., Cardoso, C., Oliveira, R., Lourenço, H. M., Viula, A., Batista, I., Coelho, I., & Nunes, M. L. (2015). Benefits and risks associated with consumption of raw, cooked, and canned tuna (*Thunnus* spp.) based on the bioaccessibility of selenium and methylmercury. *Environmental Research*, 143, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.04.019>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). Toxicological Profile for Cadmium. 487.
- Allaire, J., Johnson-Down, L., Little, M., Ayotte, P., & Lemire, M. (2021). COUNTRY AND MARKET FOOD CONSUMPTION AND NUTRITIONAL STATUS QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey.
- Almela, C., Laparra, J. M., Vélez, D., Barberá, R., Farré, R., & Montoro, R. (2005). Arsenosugars in Raw and Cooked Edible Seaweed: Characterization and Bioaccessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(18), 7344–7351. <https://doi.org/10.1021/jf050503u>
- Amlund, H., Lundebye, A.-K., & Berntssen, M. H. G. (2007). Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology*, 83(4), 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.05.008>
- Amyot, M., Husser, E., St-Fort, K., & Ponton, D. E. (2023). Effect of cooking temperature on metal concentrations and speciation in fish muscle and seal liver. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262, 115184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115184>
- Andrewes, P., DeMarini, D. M., Funasaka, K., Wallace, K., Lai, V. W. M., Sun, H., Cullen, W. R., & Kitchin, K. T. (2004). Do Arsenosugars Pose a Risk to Human Health? The Comparative Toxicities of a Trivalent and Pentavalent Arsenosugar. *Environmental Science & Technology*, 38(15), 4140–4148. <https://doi.org/10.1021/es035440f>
- Armstrong, G. (2016). COMMERCIALIZING THE LUCKY IRON FISHTM USING SOCIAL ENTERPRISE: A NOVEL HEALTH INNOVATION FOR IRON DEFICIENCY AND ANEMIA IN CAMBODIA AND BEYOND.
- Balendran, S., & Forsyth, C. (2021). Non-anaemic iron deficiency. *Australian Prescriber*, 44(6), 193–196. <https://doi.org/10.18773/austprescr.2021.052>
- Bebianno, M. J., Nott, J. A., & Langston, W. J. (1993). Cadmium metabolism in the clam *Ruditapes decussata*: The role of metallothioneins. *Aquatic Toxicology*, 27(3–4), 315–333. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(93\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0166-445X(93)90061-5)
- Blanchet, C., Dewailly, É., Ayotte, P., Bruneau, S., Receveur, O., & Holub, B. J. (2000). Contribution of selected traditional and market foods to the diet of Nunavik Inuit women. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 61(2), 50–59.
- Blanchet, C., & Rochette, L. (2008). Nutrition and food consumption among the Inuit of Nunavik. Régie régionale de la santé et des Services sociaux, Nunavik.

- Bornhorst, J., Ebert, F., Meyer, S., Ziemann, V., Xiong, C., Guttenberger, N., Raab, A., Baesler, J., Aschner, M., Feldmann, J., Francesconi, K., Raber, G., & Schwerdtle, T. (2020). Toxicity of three types of arsenolipids: Species-specific effects in *Caenorhabditis elegans*. *Metallomics*, 12(5), 794–798. <https://doi.org/10.1039/d0mt00039f>
- Burger, J., Dixon, C., Boring, S., & Gochfeld, M. (2003). Effect of Deep-Frying Fish on Risk from Mercury. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 66(9), 817–828. <https://doi.org/10.1080/15287390306382>
- Charette, T., Kaminski, G., Rosabal, M., & Amyot, M. (2021). Effects of Speciation, Cooking and Changes in Bioaccessibility on Methylmercury Exposure Assessment for Contrasting Diets of Fish and Marine Mammals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2565. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052565>
- Charette, T., Rosabal, M., & Amyot, M. (2021). Mapping metal (Hg, As, Se), lipid and protein levels within fish muscular system in two fish species (Striped Bass and Northern Pike). *Chemosphere*, 265, 129036. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129036>
- Charles, C. (2012). Happy Fish: A Novel Supplementation Technique to Prevent Iron Deficiency Anemia in Women in Rural Cambodia.
- Cherry, P., O'Hara, C., Magee, P. J., McSorley, E. M., & Allsopp, P. J. (2019). Risks and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutrition Reviews*, 77(5), 307–329. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy066>
- Cheyns, K., Waegeneers, N., Van De Wiele, T., & Ruttens, A. (2017). Arsenic Release from Foodstuffs upon Food Preparation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2443–2453. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05721>
- Choi, H. J., Ji, J., Chung, K.-H., & Ahn, I.-Y. (2007). Cadmium bioaccumulation and detoxification in the gill and digestive gland of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 145(2), 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.12.005>
- Circuncisão, A., Catarino, M., Cardoso, S., & Silva, A. (2018). Minerals from Macroalgae Origin: Health Benefits and Risks for Consumers. *Marine Drugs*, 16(11), 400. <https://doi.org/10.3390/md16110400>
- Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019). Calcium Intake and Health. *Nutrients*, 11(7), 1606. <https://doi.org/10.3390/nu11071606>
- Costa, S., Afonso, C., Bandarra, N. M., Gueifão, S., Castanheira, I., Carvalho, M. L., Cardoso, C., & Nunes, M. L. (2013). The emerging farmed fish species meagre (*Argyrosomus regius*): How culinary treatment affects nutrients and contaminants concentration and associated benefit-risk balance. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.050>
- Devesa, V., Martínez, A., Súnier, M. A., Vélez, D., Almela, C., & Montoro, R. (2001). Effect of Cooking Temperatures on Chemical Changes in Species of Organic Arsenic in Seafood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2272–2276. <https://doi.org/10.1021/jf0013297>
- Devesa, V., Vélez, D., & Montoro, R. (2008). Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. *Food and Chemical Toxicology*, 46(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.08.021>

- Edmonds, J. S., & Francesconi, K. A. (1998). Arsenic metabolism in aquatic ecosystems. In W. J. Langston & M. J. Bebianno (Eds.), *Metal Metabolism in Aquatic Environments* (pp. 159–183). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2761-6_6
- Edmonds, J. S., Francesconi, K. A., & Stick, R. V. (1993). Arsenic compounds from marine organisms. *Natural Product Reports*, 10(4), 421. <https://doi.org/10.1039/np9931000421>
- Erickson, R. J., Mount, D. R., Highland, T. L., Hockett, J. R., Hoff, D. J., Jenson, C. T., & Lahren, T. J. (2019). The effects of arsenic speciation on accumulation and toxicity of dietborne arsenic exposures to rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 210, 227–241. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.03.001>
- European Commission. (2021). COMMISSION REGULATION (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in certain foodstuffs (Official Journal of the European Union).
- Feldmann, J., & Krupp, E. M. (2011). Critical review or scientific opinion paper: Arsenosugars—a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs? *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399(5), 1735–1741. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4303-6>
- Furgal, C., Pirkle, C., Lemire, M., Lucas, M., & Martin, R. (2022). FOOD SECURITY QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey.
- Gagné, D., Blanchet, R., Lauzière, J., Vaissière, É., Vézina, C., Ayotte, P., Déry, S., & Turgeon O'Brien, H. (2012). Traditional food consumption is associated with higher nutrient intakes in Inuit children attending childcare centres in Nunavik. *International Journal of Circumpolar Health*, 71(1), 18401. <https://doi.org/10.3402/ijch.v71i0.18401>
- George, G. N., Singh, S. P., Prince, R. C., & Pickering, I. J. (2008). Chemical Forms of Mercury and Selenium in Fish Following Digestion with Simulated Gastric Fluid. *Chemical Research in Toxicology*, 21(11), 2106–2110. <https://doi.org/10.1021/tx800176g>
- Girard, C., Charette, T., Leclerc, M., Shapiro, B. J., & Amyot, M. (2018). Cooking and co-ingested polyphenols reduce in vitro methylmercury bioaccessibility from fish and may alter exposure in humans. *Science of The Total Environment*, 616–617, 863–874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.236>
- Hall, M. N., & Edwards, M. C. (1989). COMPARISON OF THE COMPOSITION OF PROCESSED AND FRESH VEGETABLES AS CONSUMED. *Acta Horticulturae*, 244, 209–216. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.244.21>
- Harris, H. H., Pickering, I. J., & George, G. N. (2003). The Chemical Form of Mercury in Fish. *Science*, 301(5637), 1203–1203. <https://doi.org/10.1126/science.1085941>
- Hartfield, D. (2010). Iron deficiency is a public health problem in Canadian infants and children. *Paediatrics & Child Health*, 15(6), 347–350. <https://doi.org/10.1093/pch/15.6.347>
- He, M., Ke, C.-H., & Wang, W.-X. (2010). Effects of Cooking and Subcellular Distribution on the Bioaccessibility of Trace Elements in Two Marine Fish Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3517–3523. <https://doi.org/10.1021/jf100227n>
- Health Canada. (1986). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline technical document: Mercury.
- Health Canada. (2006). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline technical document: Arsenic.

- Health Canada. (2007). Human health risk assessment of mercury in fish and health benefits of fish consumption. Health Canada, Bureau of Chemical Safety.
- Health Canada. (2010). Dietary Reference Intakes Definitions and Tables.
- Health Canada. (2020). Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline technical document : cadmium. Health Canada = Santé Canada.
- Health Canada. (2022). List of contaminants and other adulterating substances in foods. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/food-safety/chemical-contaminants/contaminants-adulterating-substances-foods.html>
- Health Canada. (2023, September). Dietary reference intakes for elements. Dietary reference intakes for elements - Canada.ca.html
- Hong, H., Zhou, Y., Wu, H., Luo, Y., & Shen, H. (2014). Lipid Content and Fatty Acid Profile of Muscle, Brain and Eyes of Seven Freshwater Fish: A Comparative Study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(5), 795–804. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2414-5>
- Institute of Medicine. (2006). Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements (p. 11537). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11537>
- Inuit Tapiriit Kanatami. (2017). An Inuit-Specific Approach for the Canadian Food Policy.
- Jaiswal, A. K., Gupta, S., & Abu-Ghannam, N. (2012). Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Irish York cabbage after blanching treatment. *Food Chemistry*, 131(1), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.032>
- Johnston, I. A. (1975). Studies on the swimming musculature of the rainbow trout.: II. Muscle metabolism during severe hypoxia. *Journal of Fish Biology*, 7(4), 459–467. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1975.tb04621.x>
- Koch, I., McPherson, K., Smith, P., Easton, L., Doe, K. G., & Reimer, K. J. (2007). Arsenic bioaccessibility and speciation in clams and seaweed from a contaminated marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54(5), 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.12.004>
- Korus, A. (2020). Changes in the content of minerals, B-group vitamins and tocopherols in processed kale leaves. *Journal of Food Composition and Analysis*, 89, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103464>
- Kuhnlein, H. V., Chan, H. M., Leggee, D., & Barthelet, V. (2002). Macronutrient, Mineral and Fatty Acid Composition of Canadian Arctic Traditional Food. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(5), 545–566. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1066>
- Kuhnleini, H. V., & Soueida, R. (1992). Use and nutrient composition of traditional baffin inuit foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(2), 112–126. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90026-G](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90026-G)
- Kumssa, D. B., Joy, E. J. M., & Broadley, M. R. (2021). Global Trends (1961–2017) in Human Dietary Potassium Supplies. *Nutrients*, 13(4), 1369. <https://doi.org/10.3390/nu13041369>
- Lai, V. (2004). Arsenic speciation in human urine: Are we all the same? *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198(3), 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2003.10.033>
- Laird, B. D., & Chan, H. M. (2013). Bioaccessibility of metals in fish, shellfish, wild game, and seaweed harvested in British Columbia, Canada. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.033>

- Lavoie, A., Lemire, M., Lévesque, B., & Ayotte, P. (2021). IRON DEFICIENCY AND ANEMIA QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey.
- Lawn, J., Canada, & Indian and Northern Affairs Canada. (2004). Nutrition and food security in Kangiqsujuaq, Nunavik: Baseline survey for the Food Mail Pilot Project. http://epe.lac-bac.gc.ca/100/200/301/inac-ainc/nutrition_food_kangiqsujuaq-e/kangrep04_e.pdf
- Leaner, J. J., & Mason, R. P. (2004). Methylmercury uptake and distribution kinetics in sheepshead minnows, *Cyprinodon variegatus*, after exposure to CH₃Hg-spiked food. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(9), 2138–2146. <https://doi.org/10.1897/03-258>
- Lemire, M., Brisson, M., Ricard, S., Pontual, M. de M., Gagné, E., & Gauthier, M.-J. (2019). Consultations Summary for the Nutaratsaliit Qanuingsiarningit Nigituinnanut – NQN (Pregnancy wellness with country foods) Project.
- Lemire, M., Kwan, M., Laouan-Sidi, A. E., Muckle, G., Pirkle, C., Ayotte, P., & Dewailly, E. (2015). Local country food sources of methylmercury, selenium and omega-3 fatty acids in Nunavik, Northern Quebec. *Science of The Total Environment*, 509–510, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.102>
- Lemire, M., Lavoie, A., Pontual, M., Little, M., Lévesque, B., & Ayotte, P. (2021). Environmental Contaminants: Metals—Qanuilirpitaa? 2017—Nunavik Inuit Health Survey. 42.
- Lescord, G. L., Johnston, T. A., Ponton, D. E., Amyot, M., Lock, A., & Gunn, J. M. (2022). The speciation of arsenic in the muscle tissue of inland and coastal freshwater fish from a remote boreal region. *Chemosphere*, 308, 136140. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136140>
- Liao, W., Zhao, W., Wu, Y., Rong, N., Liu, X., Li, K., & Wang, G. (2020). Multiple metal(loid)s bioaccessibility from cooked seafood and health risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(11), 4037–4050. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00661-9>
- Little, M., Hagar, H., Zivot, C., Dodd, W., Skinner, K., Kenny, T.-A., Caughey, A., Gaupholm, J., & Lemire, M. (2020). Drivers and health implications of the dietary transition among Inuit in the Canadian Arctic: A scoping review. 19.
- Maehre, H. K., Malde, M. K., Eilertsen, K.-E., & Elvevoll, E. O. (2014). Characterization of protein, lipid and mineral contents in common Norwegian seaweeds and evaluation of their potential as food and feed: Biochemical composition of marine macroalgae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(15), 3281–3290. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6681>
- Ministère de la Santé. (2013). Nutrition Fact Sheet Series Inuit Traditional Foods.
- Mistry, H. D., Kurlak, L. O., Young, S. D., Briley, A. L., Broughton Pipkin, F., Baker, P. N., & Poston, L. (2014). Maternal selenium, copper and zinc concentrations in pregnancy associated with small-for-gestational-age infants: Micronutrient concentrations, SGA and adolescence. *Maternal & Child Nutrition*, 10(3), 327–334. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8709.2012.00430.x>
- Nielsen, F. H. (2018). Magnesium deficiency and increased inflammation: Current perspectives. *Journal of Inflammation Research*, Volume 11, 25–34. <https://doi.org/10.2147/JIR.S136742>
- Nong, Q., Dong, H., Liu, Y., Liu, L., He, B., Huang, Y., Jiang, J., Luan, T., Chen, B., & Hu, L. (2021). Characterization of the mercury-binding proteins in tuna and salmon sashimi:

- Implications for health risk of mercury in food. *Chemosphere*, 263, 128110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128110>
- NRRHSS. (2023). Healthy Eating—Nunavik Regional Board of Health and Social Services. Healthy Eating _ Nunavik Regional Board of Health and Social Services.html
- Nygård, T. (2019). LIQUID LOSSES FROM ATLANTIC COD (*GADUS MORHUA*) DURING HEAT TREATMENT.
- Peterson, S. A., Ralston, N. V. C., Whanger, P. D., Oldfield, J. E., & Mosher, W. D. (2009). Selenium and Mercury Interactions with Emphasis on Fish Tissue. *Environmental Bioindicators*, 4(4), 318–334. <https://doi.org/10.1080/15555270903358428>
- Pirkle, C. M., Lucas, M., Dallaire, R., Ayotte, P., Jacobson, J. L., Jacobson, S. W., Dewailly, E., & Muckle, G. (2014). Food insecurity and nutritional biomarkers in relation to stature in Inuit children from Nunavik. *Canadian Journal of Public Health*, 105(4), e233–e238. <https://doi.org/10.17269/cjph.105.4520>
- Pirkle, C. M., Muckle, G., & Lemire, M. (2016). Managing mercury exposure in northern Canadian communities. *Canadian Medical Association Journal*, 188(14), 1015–1023. <https://doi.org/10.1503/cmaj.151138>
- Puupponen-Pimiä, R., Häkkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A.-M., Eurola, M., Piironen, V., Nuutila, A. M., & Oksman-Caldentey, K.-M. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways: Effect of blanching and freezing on vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14), 1389–1402. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1589>
- Reimer, K. J., Koch, I., & Cullen, W. R. (2010). 6. Organoarsenicals. Distribution and Transformation in the Environment. In A. Sigel, H. Sigel, & R. K. O. Sigel (Eds.), *Metal Ions in Life Sciences* (pp. 165–229). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849730822-00165>
- Riisgard, H. U., Bjornestad, E., & Mohlenberg, F. (1987). Accumulation of cadmium in the mussel *Mytilus edulis*: Kinetics and importance of uptake via food and sea water. *Marine Biology*, 96(3), 349–353. <https://doi.org/10.1007/BF00412516>
- Ruby, M. V., Davis, A., Link, T. E., Schoof, R., Chaney, R. L., Freeman, G. B., & Bergstrom, P. (1993). Development of an in vitro screening test to evaluate the in vivo bioaccessibility of ingested mine-waste lead. *Environmental Science & Technology*, 27(13), 2870–2877. <https://doi.org/10.1021/es00049a030>
- Ruperez, P. (2002). Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry*, 79(1), 23–26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00171-1)
- Salehi, Sharifi-Rad, Seca, Pinto, Michalak, Trincone, Mishra, Nigam, Zam, & Martins. (2019). Current Trends on Seaweeds: Looking at Chemical Composition, Phytopharmacology, and Cosmetic Applications. *Molecules*, 24(22), 4182. <https://doi.org/10.3390/molecules24224182>
- Sattar, A., Xie, S., Hafeez, M. A., Wang, X., Hussain, H. I., Iqbal, Z., Pan, Y., Iqbal, M., Shabbir, M. A., & Yuan, Z. (2016). Metabolism and toxicity of arsenicals in mammals. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 48, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.10.020>
- Serra, R., Carpené, E., Marcantonio, A. C., & Isani, G. (1995). Cadmium accumulation and Cd-binding proteins in the bivalve *Scapharca inaequalvis*. *Comparative Biochemistry and*

- Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology, 111(2), 165–174.
[https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)00034-L](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)00034-L)
- Sharma, A. K., Tjell, J. Chr., Sloth, J. J., & Holm, P. E. (2014). Review of arsenic contamination, exposure through water and food and low cost mitigation options for rural areas. *Applied Geochemistry*, 41, 11–33. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.11.012>
- Swaminathan, R. (2003). Magnesium Metabolism and its Disorders. *The Clinical Biochemist Reviews*, 24(2), 47.
- Taylor, V., Goodale, B., Raab, A., Schwerdtle, T., Reimer, K., Conklin, S., Karagas, M. R., & Francesconi, K. A. (2017). Human exposure to organic arsenic species from seafood. *Science of The Total Environment*, 580, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113>
- Tolins, M., Ruchirawat, M., & Landrigan, P. (2014). The Developmental Neurotoxicity of Arsenic: Cognitive and Behavioral Consequences of Early Life Exposure. *Annals of Global Health*, 80(4), 303. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.09.005>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- Torres-Escribano, S., Ruiz, A., Barrios, L., Vélez, D., & Montoro, R. (2011). Influence of mercury bioaccessibility on exposure assessment associated with consumption of cooked predatory fish in Spain: Effect of cooking on mercury bioaccessibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 981–986. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4241>
- World Health Organization. (2019). Preventing disease through healthy environments. Exposure to cadmium: A major public health concern.

Supplementary

Supplementary methods

Bioaccessibility procedure

All the solutions required were prepared in acid-washed Teflon™ bottles from a hybrid protocol derived from the Infogest 2.0 protocol (Brodkorb et al., 2019) and the Physiologically-based extraction test (Charette et al., 2021; Ruby et al., 1996). In 50 mL trace metal-free Falcon™ tubes, 0.2 g of dried tissue from seaweeds, mussels or clams were rehydrated with 0.8 mL of Milli-Q water. Each tissue sample went through a saliva phase and a gastric phase, but only duplicate went through the intestinal phase following the hybrid protocol. Once the digestion completed, the supernatant solution was separated from the pellet portion and analyzed for its metal(loid) content. Bioaccessibility was calculated as

$$\frac{\text{mass supernatant}}{\text{total mass}} * 100 \quad (2)$$

where mass supernatant (g) represents the weight of the metal(loid) found in the supernatant at the end of either the gastric or intestinal phase and total mass (g) represents the weight of the metal(loid) found in the tissue before the digestion process.

Metal(loid) mass balances were calculated as

$$\frac{\text{mass in pellet} + \text{mass supernatant}}{\text{total mass}} * 100 \quad (3)$$

where mass in pellet (g) represents the weight of the metal(loid) found in the pellet at the end of either the gastric or intestinal phase. An average of $103 \pm 16\%$ (n=62), $96 \pm 18\%$ (n=62) and $73 \pm 25\%$ (n=62) were obtained for TAs, Cd and THg respectively.

Hazard quotient procedure

Estimated daily intakes (EDI) for each toxic metal(loid) were estimated using the scenario where either 100 g (seaweed, mussel, clam) or 250 g (fish) of tissue are consumed. The EDI was derived from the models propose by Health Canada (2007) and we adapted it slightly to apply for our scenario. Hazard Quotient (HQ) was then calculated based on the EDI in the following equations:

$$EDI = \frac{PC * [\text{toxic metal(oid)}]}{BW} \quad (4)$$

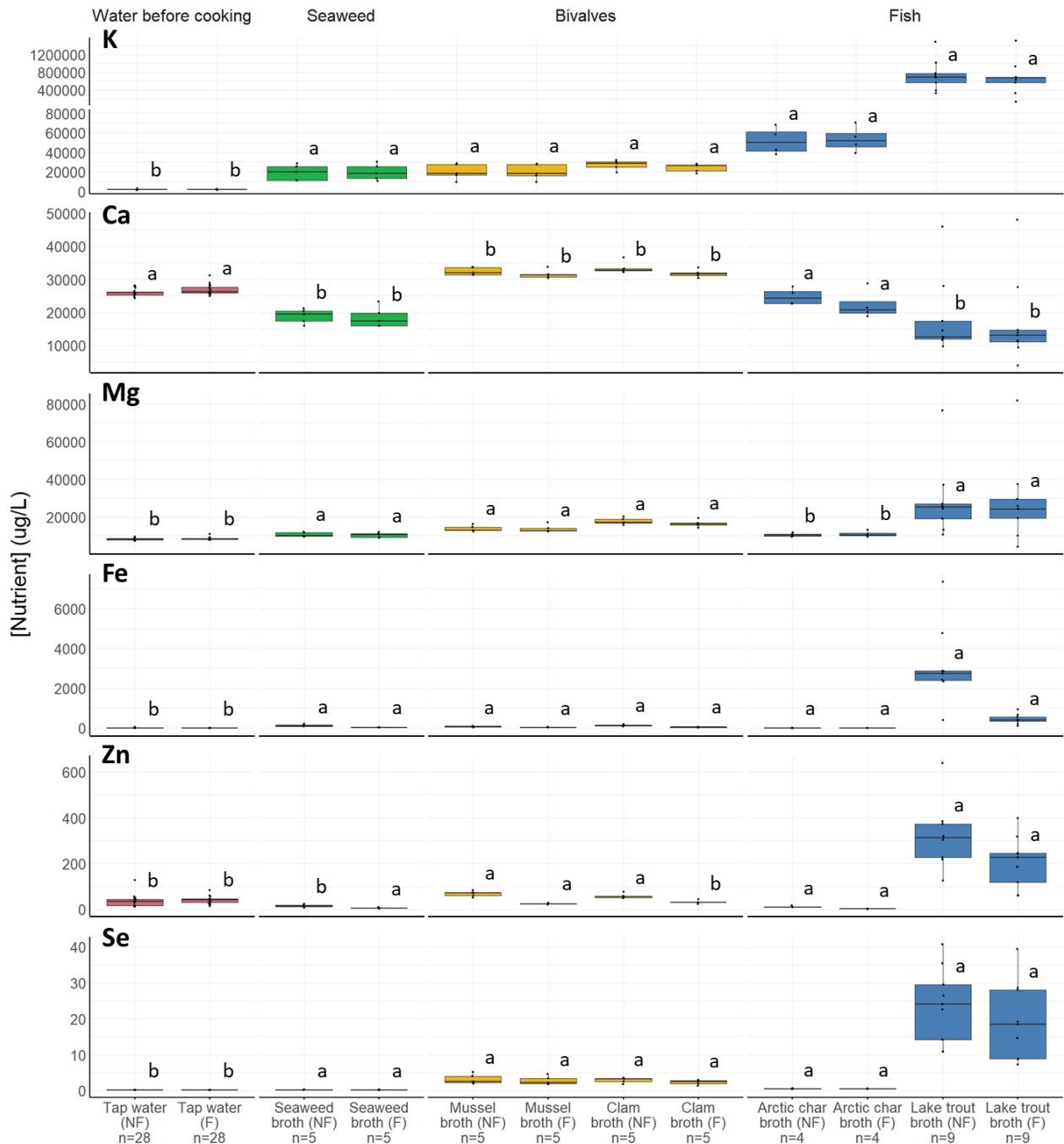
$$HQ = \frac{EDI}{pTDI} \quad (5)$$

where PC (g ww) represents the portion consumed daily of an ingredient in the recipe, [toxic metal(loid)] ($\mu\text{g/g ww}$) refers to the concentration of toxic metal(loid) found in the ingredient (prior and after boiling when relevant) and BW (kg) represents the average body weight for a pregnant woman estimated at 60 kg based on Health Canada (2007). HQ is a threshold used to evaluate the potential risk of a metal(loid) and assume that $HQ > 1$ would imply an exposure risk. It is calculated using the provisional tolerable daily intake (pTDI, $\mu\text{g/kg}$) that is defined as the quantity per BW that a toxic metal(loid) can be consumed daily over a lifetime without harmful health effects (Health Canada, 2007).

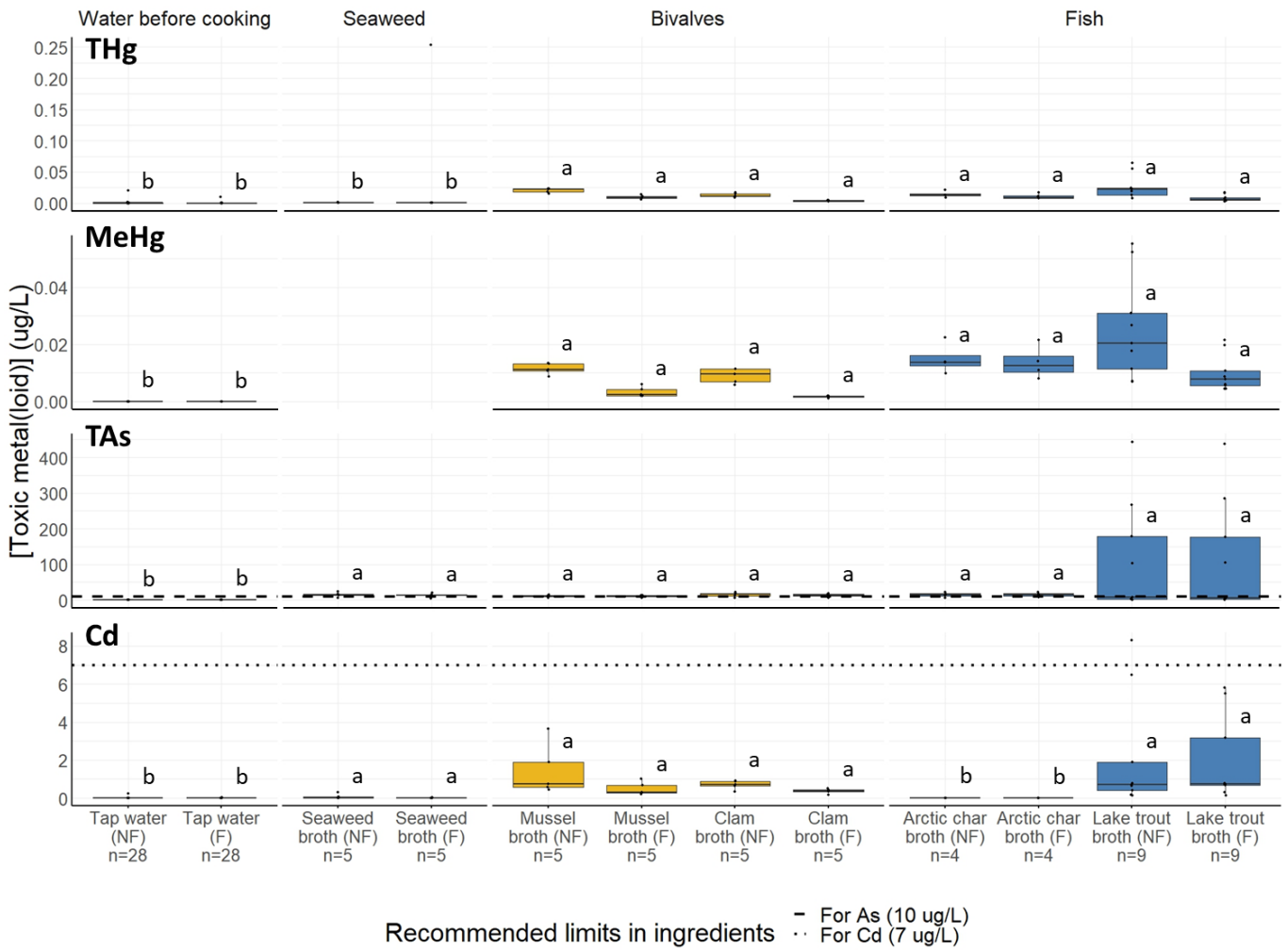
Methylmercury procedure

Methylmercury (MeHg) was measured in dried tissue (10 mg) and broth samples (1 mL or 40 mL) using a cold vapour atomic fluorescence spectrometry (CVAFS, Tekran Series 2700, Tekran Instruments Corporation). MeHg for seaweed broth samples were not performed because the THg levels were too low. The tissues were digested overnight in 5 mL or 10 mL of 4M HNO_3 (ACS-pur, Fisher Scientific) at 65°C . A 50 μL aliquot was taken and diluted in 30 mL of Milli-Q water buffered with acetate prepared as indicated in US EPA Method 1630. Tetraethylborate (1%, ReagentPlus®, Sigma-Aldrich) was added to ethylate the Hg and then detected in the CVAFS. For the broth samples taken prior to cooking (40 mL) and after cooking (1 mL diluted in 40 mL of Milli-Q water), the samples were distilled using distillation heaters (Tekran Series 2750, Tekran Instruments Corporation). Ascorbic acid (2.5%, ReagentPlus®, Sigma-Aldrich) was added to the distilled samples and they were treated the same way as the tissue samples. Analysis accuracy was tested every 10 samples using DORM-4 and TORT-3 as certified reference materials and the recovery was 80% for tissues and 90% for broth (Supplementary Table 3).

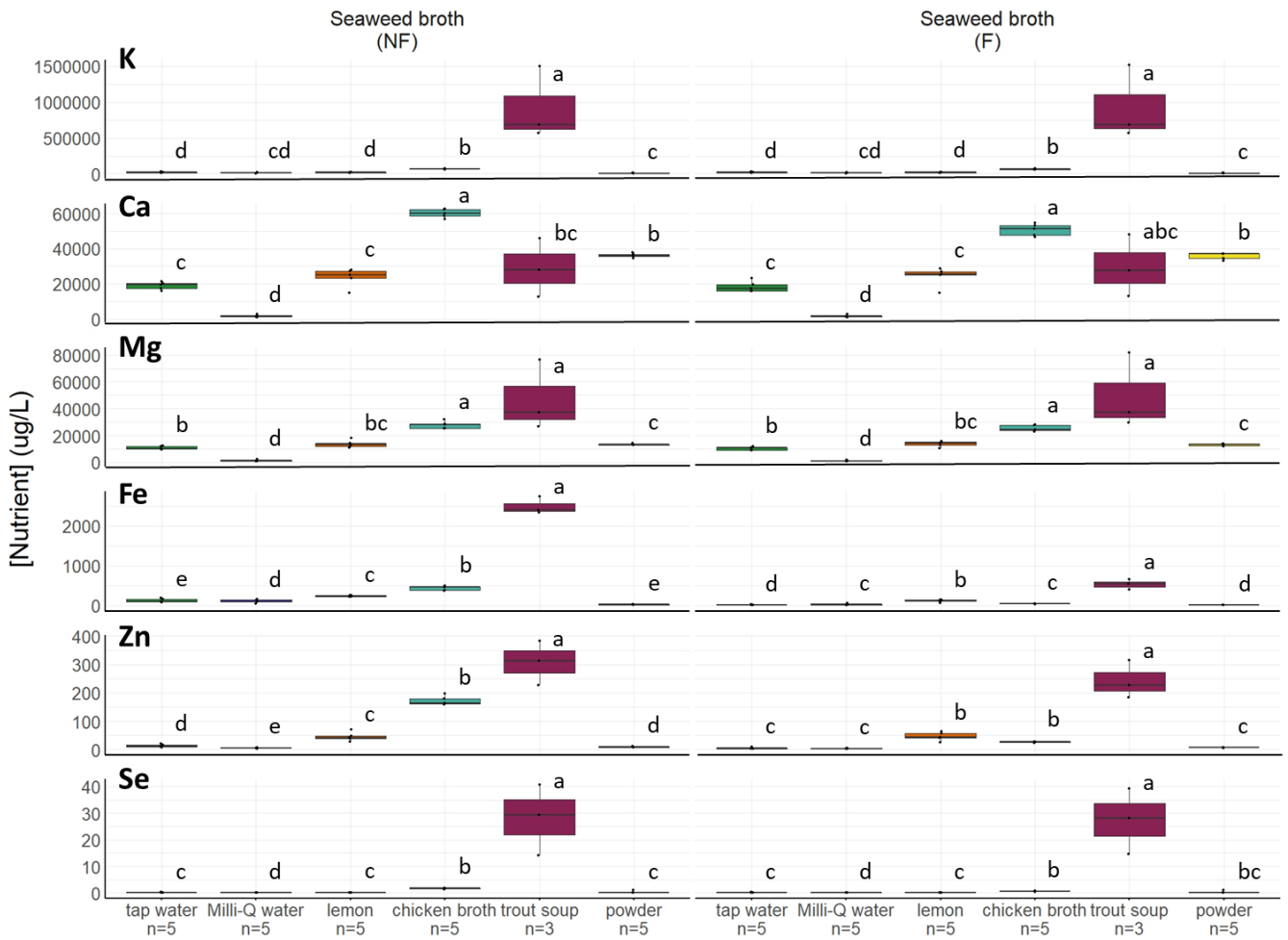
Supplementary figures



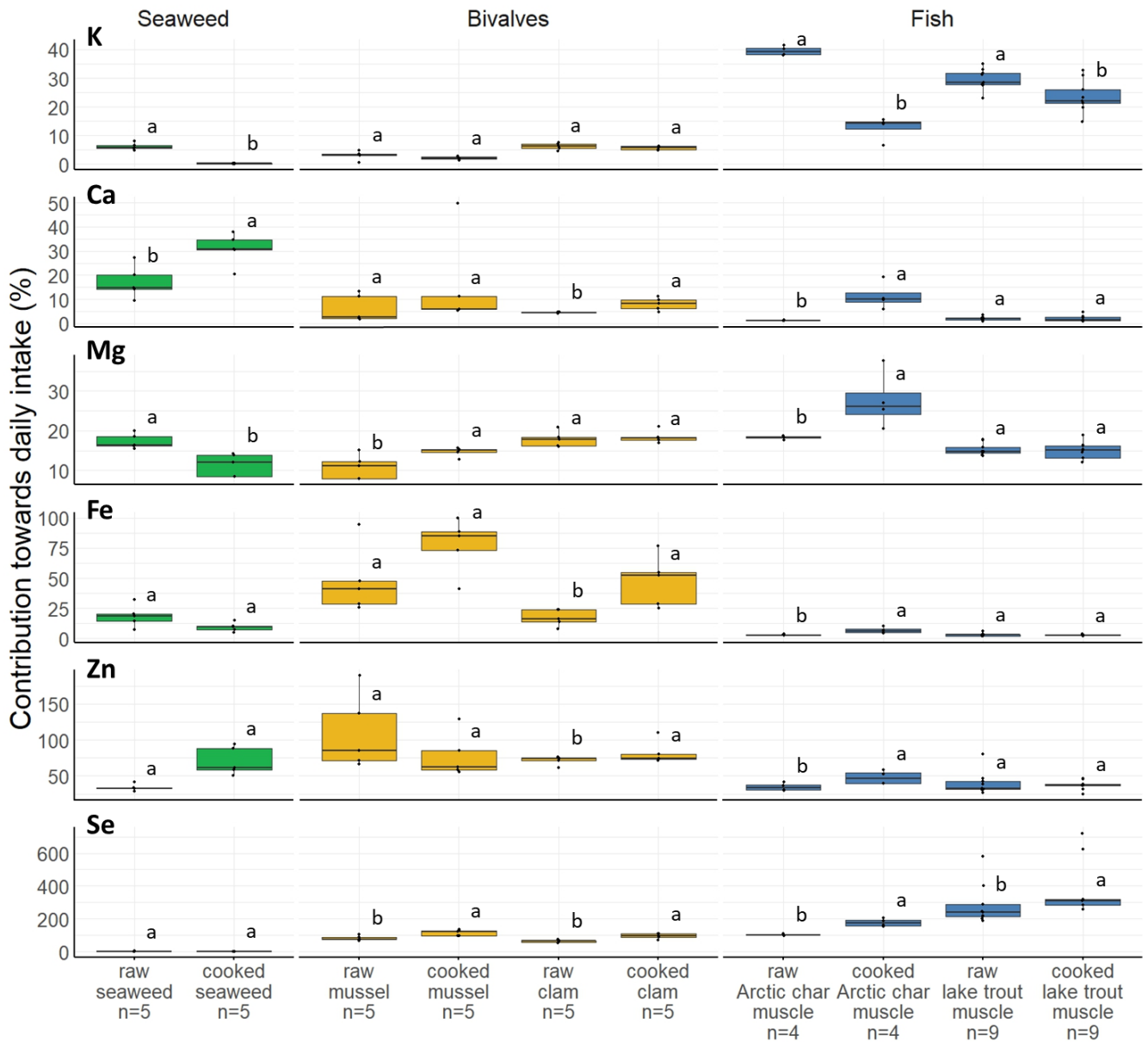
Supplementary Figure 1. Concentration of nutrients ($\mu\text{g/g}$ ww) in the tap water before adding ingredients and in the cooked broth for various ingredients boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means between the water before cooking and the cooked broth for each ingredient in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$.



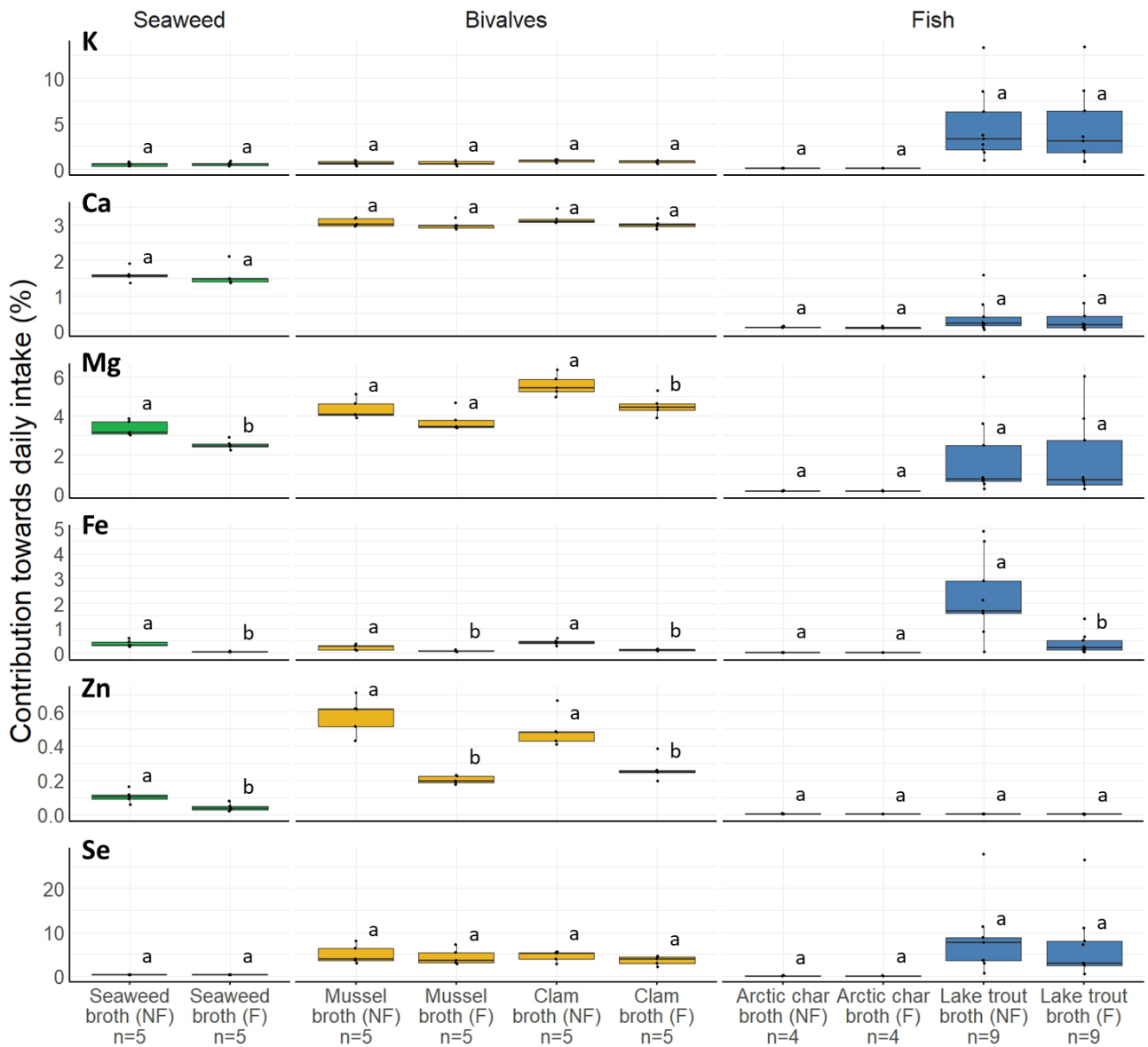
Supplementary Figure 2. Concentration of metal(loid)s ($\mu\text{g/g ww}$) in the tap water before adding ingredients and in the cooked broth for various ingredients boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means between the water before cooking and the cooked broth for each ingredient in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$. MeHg was not measured in seaweed due to low THg concentrations.



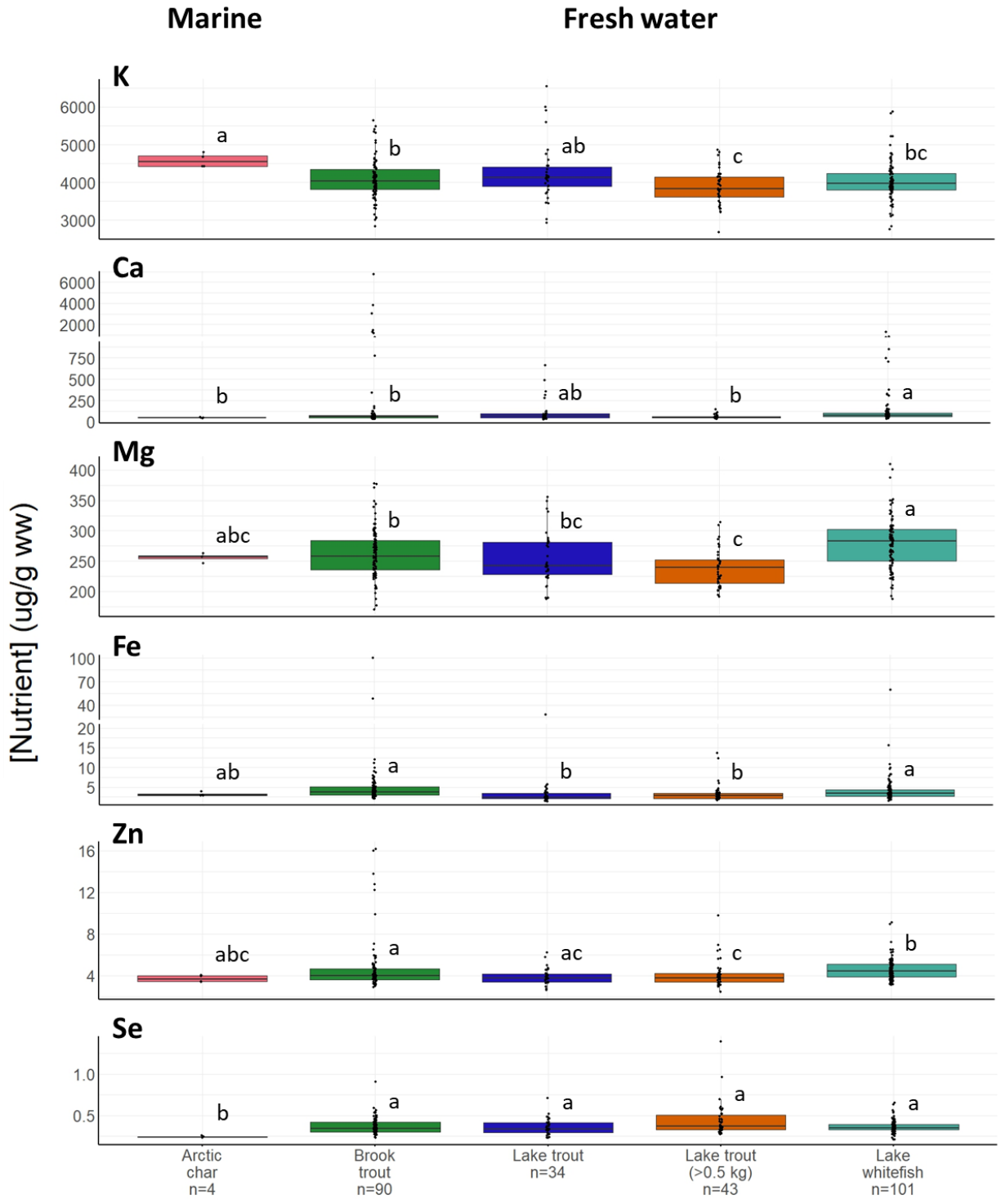
Supplementary Figure 3. Concentration of nutrients ($\mu\text{g/L}$) for broth in various cooking conditions for the seaweed. Different letters represent significantly different means within each condition group in both not filtered (NF) and filtered (F) water with $0.45 \mu\text{m}$.



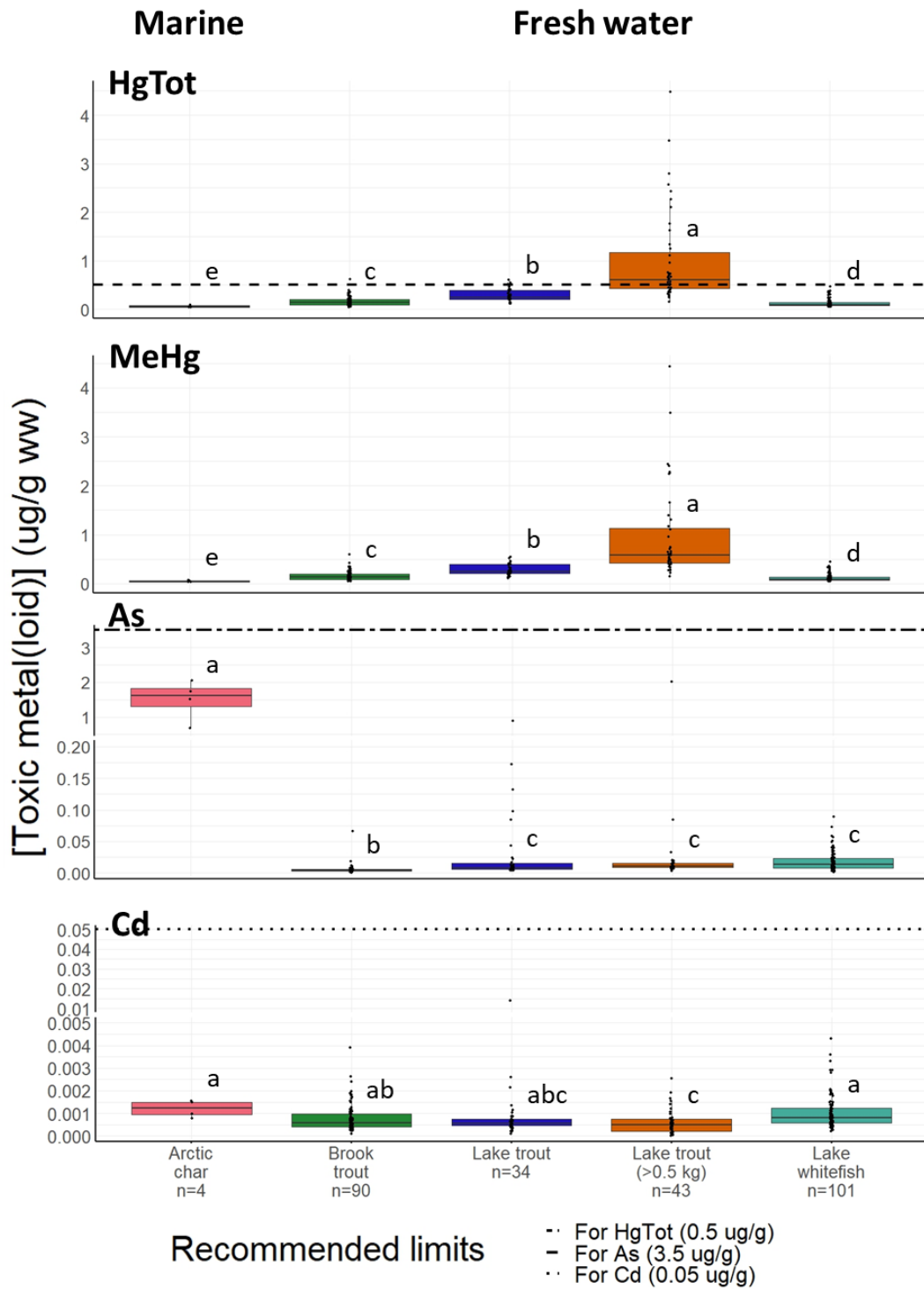
Supplementary Figure 4. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients found in various raw and cooked tissues boiled in tap water for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



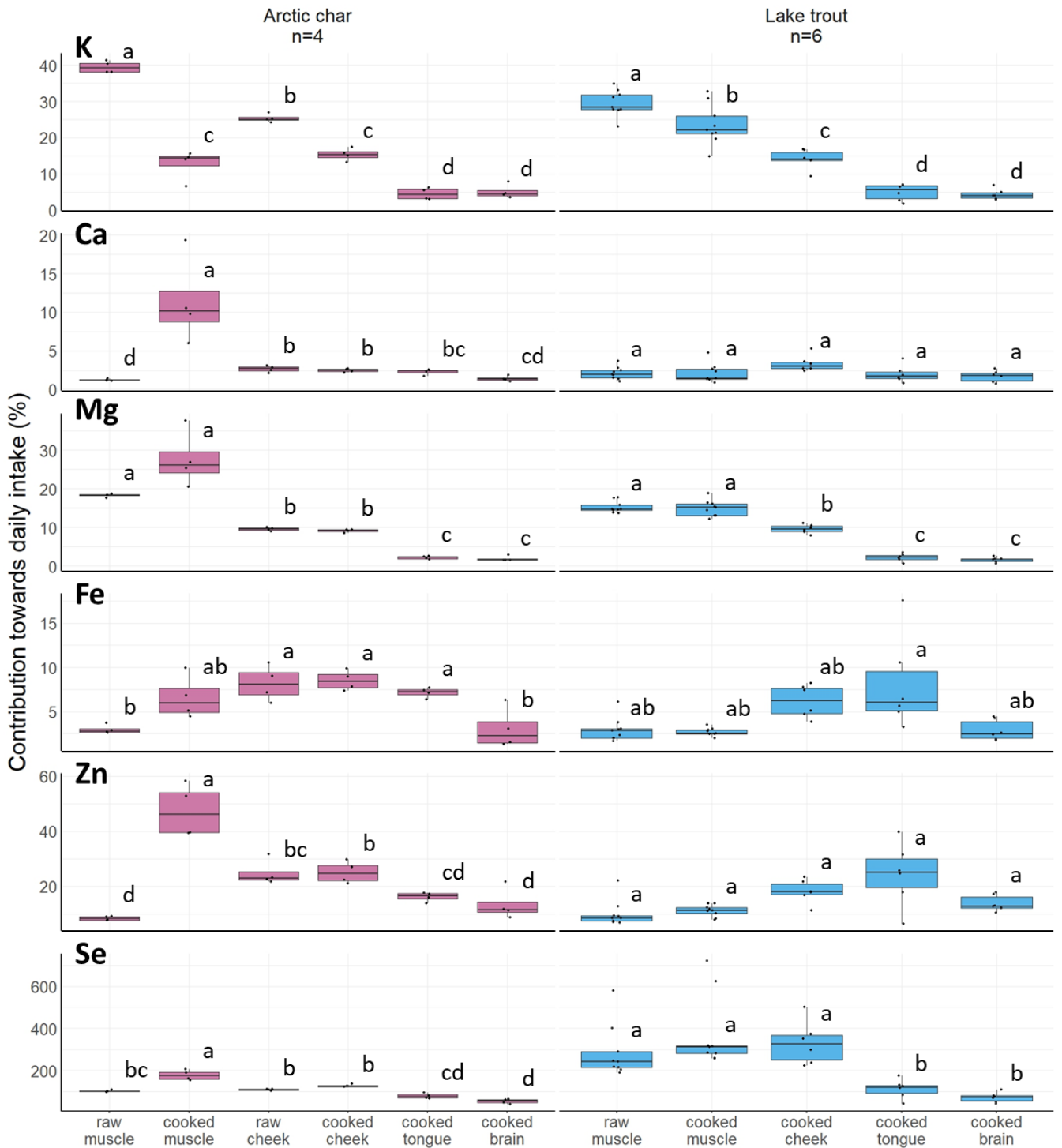
Supplementary Figure 5. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients found in the broth boiled for 1 hour (e.g., seaweed and fish) or 5 minutes (e.g., mussel and clam). The fish muscle presented comes from large lake trouts. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



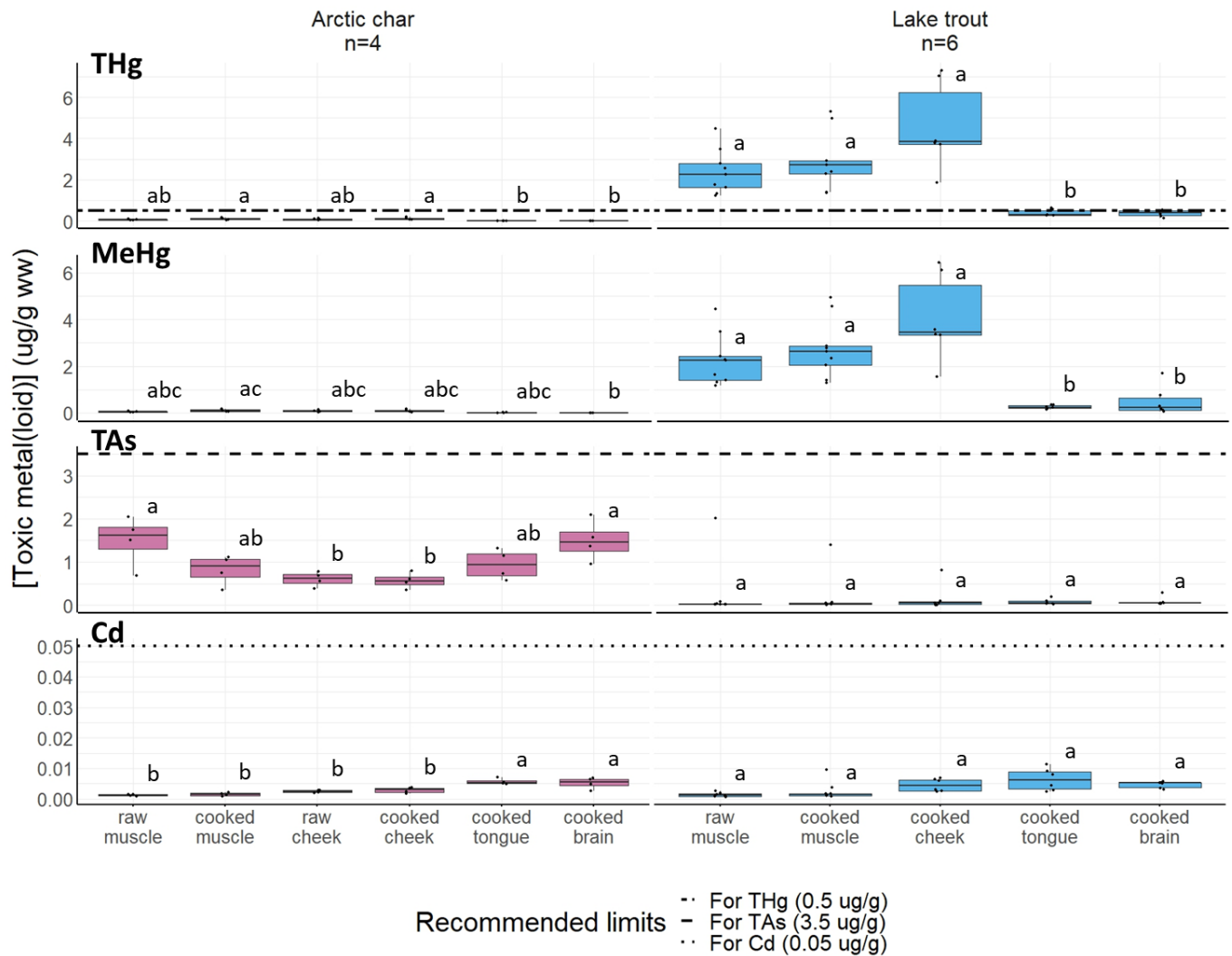
Supplementary Figure 6. Concentrations of nutrient ($\mu\text{g/g}$ ww) in various raw muscle tissues for different fish tissues. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



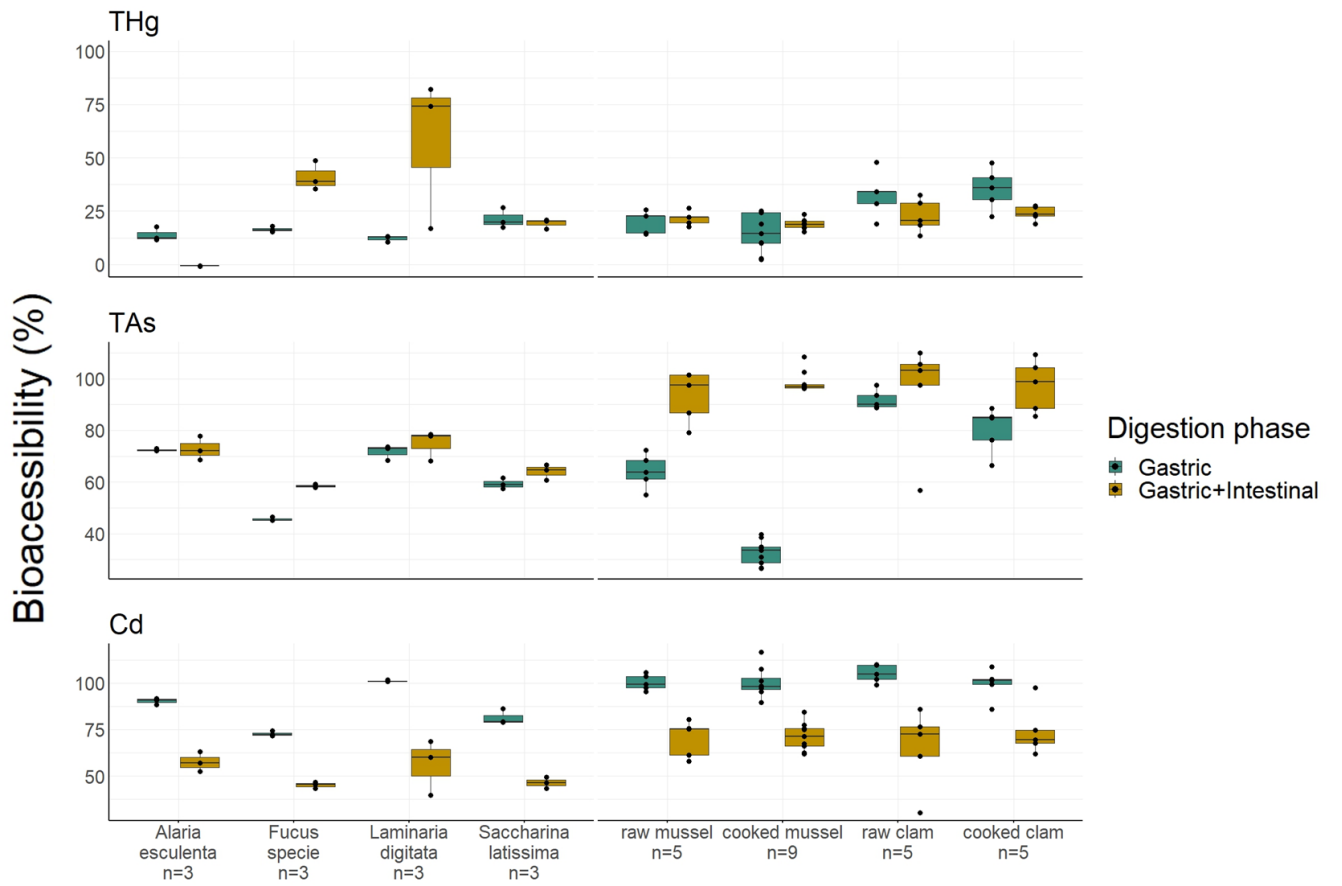
Supplementary Figure 7. Concentrations of toxic metal(loid)s ($\mu\text{g/g ww}$) in various raw muscle tissues for different fish tissues. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



Supplementary Figure 8. Percentage of contribution towards daily requirements (%) of nutrients in raw and cooked muscle, cheek, brain, tongue and brain tissue for boiled Arctic char and large lake trout. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



Supplementary Figure 9. Concentrations of toxic metal(loid)s ($\mu\text{g/g}$ ww) in raw and cooked muscle, cheek, brain, tongue and brain tissue for boiled Arctic char and large lake trout. Different letters represent significantly different means within each ingredient group.



Supplementary Figure 10. Bioaccessibility percentage (%) for metal(loid)s in the gastric and gastric-intestinal phase during digestion.

Supplementary tables

Supplementary Table 1. Location and year each ingredient (latin name / Inuktitut) was collected.

Ingredient	Community	Year collected
Brook trout (<i>Salvelinus fontinalis</i> ,/ Aanak) (n = 88)	Inukjuak and Global WSP field technicians	Summer of 2019
Lake whitefish (<i>Coregonus clupeaformis</i> / kakkiviaqtuuq or pikugtuuq) (n = 101)	Inukjuak and Global WSP field technicians	Summer of 2019
Lake trout (<i>Salvelinus namaycush</i> / Isiuralittaak) (n = 69)	Inukjuak and Global WSP field technicians	Summer of 2019
Large lake trout (n = 9)	Puvirnituq	Summer of 2021
Brown seaweed (<i>Alaria esculenta</i> / Kuanniq) (n = 3)	Salluit	Summer of 2021
Arctic char (<i>Salvelinus alpinus</i> / Iqaluppik) (n = 4)	Kangiqualujjuaq	Summer of 2022
Brown seaweed (n = 10)	Kangiqualujjuaq	Summer of 2022
Blue mussel (<i>Mytilus edulis</i> / Uviluq) (n = 18)	Kangiqualujjuaq	Summer of 2022
Truncate softshell clam (<i>Mya truncata</i> / Ammuumajuq) (n = 10)	Kangiqualujjuaq	Summer of 2022

Supplementary Table 2. Summary of methods for cooking experiments.

Cooking experiment	Ingredient (n)	Water condition	Time (minutes)
1.1	Lake trout heads (n=3)	Nunavik tap water	60
1.2	Whole lake trouts (n=3)	Nunavik tap water	60
1.3	Whole lake trouts and seaweed (n=3)	Nunavik tap water	60
1.4	Arctic char heads (n=4)	Montreal tap water	60
2.1	Seaweed (n=5)	MilliQ water	60
2.2	Seaweed (n=5)	Montreal tap water	60
2.3	Seaweed (n=5)	Montreal tap water with lemon juice (pH 6.5)	60
2.4	Seaweed (n=5)	Montreal tap water with chicken broth	60
2.5	Dehydrated crushed powdered seaweed (n=5)	Montreal tap water	60
3.1	Mussel (n=5)	Montreal tap water	5
3.2	Clam (n=5)	Montreal tap water	5
4.1	Lucky Iron Fish (n=3)	Montreal tap water (pH 7.5)	120
4.2	Lucky Iron Fish (n=3)	Montreal tap water with lemon juice (pH 6.5)	120
4.3	Lucky Iron Fish (n=3)	Montreal tap water with lemon juice (pH 5.5)	120
4.4	Lucky Iron Fish (n=3)	Montreal tap water with lemon juice (pH 4.5)	120
4.5	Lucky Iron Fish (n=3)	Montreal tap water with lemon juice (pH 3.5)	120

Supplementary Table 3. Mean percentages \pm standard deviations of the certified material recovery rate (%) for the elements and the sample size (n).

Elements	Dorm-2	Dorm-4	Tort-3	SO-2	SRM-3232	C19	PTC
Tissue							
K	NA	85 \pm 11 (n=5)	NA	NA	98 \pm 2 (n=2)	NA	NA
Ca	NA	99 \pm 18 (n=5)	NA	NA	107 \pm 2 (n=2)	NA	NA
Mg	NA	78 \pm 6 (n=5)	NA	NA	87 \pm 2 (n=2)	NA	NA
Fe	NA	95 \pm 6 (n=5)	104 \pm 10 (n=5)	NA	93 \pm 13 (n=2)	NA	NA
Zn	NA	86 \pm 7 (n=5)	82 \pm 5 (n=5)	NA	87 \pm 2 (n=2)	NA	NA
Se	NA	91 \pm 3 (n=5)	85 \pm 6 (n=5)	NA	NA	NA	NA
THg	99 \pm 1 (n=2)	100 \pm 3 (n=12)	100 \pm 5 (n=4)	101 \pm 9 (n=6)	87 \pm 10 (n=4)	NA	NA
MeHg	NA	81 \pm 19 (n=18)	80 \pm 6 (n=5)	NA	NA	NA	NA
TAs	NA	83 \pm 8 (n=5)	92 \pm 7 (n=5)	NA	85 \pm 2 (n=2)	NA	NA
Cd	NA	136 \pm 10 (n=5)	92 \pm 3 (n=5)	NA	89 \pm 0.5 (n=2)	NA	NA
Broth							
K	NA	83 (n=1)	NA	NA	NA	NA	NA
Ca	NA	100 (n=1)	NA	NA	NA	NA	NA
Mg	NA	101 (n=1)	NA	NA	NA	NA	NA
Fe	NA	99 (n=1)	NA	NA	NA	NA	116 \pm 4 (n=10)
Zn	NA	111 (n=1)	NA	NA	NA	NA	100 \pm 7 (n=10)
Se	NA	102 (n=1)	NA	NA	NA	NA	99 \pm 3 (n=10)
THg	NA	96 \pm 1 (n=2)	NA	NA	NA	106 \pm 10 (n=17)	NA
MeHg	NA	91 \pm 5 (n=13)	NA	NA	NA	NA	NA
TAs	NA	86 (n=1)	NA	NA	NA	NA	99 \pm 3 (n=10)
Cd	NA	146 (n=1)	NA	NA	NA	NA	106 \pm 9 (n=10)

NA: not applicable, the certified material was not measured for that element

Ingredients		THg ($\mu\text{g/g ww}$)	MeHg ($\mu\text{g/g ww}$)	MeHg (%)
Tissue				
Seaweed n=5	Raw	0.0006 ± 0.0003	< 0.0001	7.6 ± 6.0
	Cooked	0.0004 ± 0.0001	< 0.0001	9.3 ± 5.1
Mussel n=5	Raw	0.02 ± 0.01	0.002 ± 0.001	13.0 ± 2.8
	Cooked	0.06 ± 0.02	0.008 ± 0.002	14.3 ± 3.9
Clam n=5	Raw	0.006 ± 0.003	0.003 ± 0.002	49.2 ± 28.5
	Cooked	0.011 ± 0.003	0.006 ± 0.002	56.2 ± 8.9
Arctic char n=4	Raw	0.06 ± 0.03	0.05 ± 0.02	80.6 ± 2.1
	Cooked	0.10 ± 0.06	0.10 ± 0.05	93.7 ± 1.0
Lake trout n=9	Raw	2.39 ± 1.07	0.73 ± 0.45	94.1 ± 5.6
	Cooked	2.92 ± 1.39	0.92 ± 0.46	95.3 ± 3.5
Brook trout n=90	Raw	0.16 ± 0.09	0.15 ± 0.09	96.9 ± 5.2
Large lake trout n=35	Raw	0.63 ± 0.46	0.61 ± 0.48	96.9 ± 4.8
Small lake trout n=34	Raw	0.30 ± 0.13	0.29 ± 0.13	98.3 ± 5.3
Lake whitefish n=101	Raw	0.13 ± 0.08	0.12 ± 0.08	94.9 ± 5.5
Broth				
Seaweed n=5	NF	0.001 ± 0.001	NA	NA
	F	0.05 ± 0.11	NA	NA
Mussel n=5	NF	0.020 ± 0.004	0.011 ± 0.002	56.2 ± 2.8
	F	0.010 ± 0.003	0.003 ± 0.002	39.0 ± 22.9
Clam n=5	NF	0.012 ± 0.004	0.009 ± 0.003	72.8 ± 9.5
	F	0.004 ± 0.001	0.002 ± 0.001	45.9 ± 6.6
Arctic char n=4	NF	0.014 ± 0.005	0.015 ± 0.05	106.6 ± 4.5
	F	0.011 ± 0.004	0.014 ± 0.006	127.9 ± 20.4
Lake trout n=9	NF	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02	96.2 ± 14.3
	F	0.008 ± 0.003	0.010 ± 0.006	131.0 ± 9.9

Supplementary Table 4. Mercury speciation for raw tissue and cooked broth.

NA: not applicable, MeHg was not measured in seaweed

Supplementary Table 5. Arsenic speciation for raw tissue and cooked fish broth. (1) non-toxic form, (2) toxic form and (3) unknown.

Ingredient		As (III) ⁽²⁾ (%)	As (V) ⁽²⁾ (%)	MMA ⁽²⁾ (%)	DMA ⁽²⁾ (%)	AsB ⁽¹⁾ (%)	As-Sug ³²⁸⁻ OH ⁽³⁾ (%)	As-Sug ³⁹²⁻ SO ₃ ⁽³⁾ (%)	As-Sug ⁴⁸²⁻ PO ₄ ⁽³⁾ (%)	AsL ⁽³⁾ (%)	Unk ⁽³⁾ (%)
Tissue											
Seaweed	Raw	ND	ND	ND	0.10 ± 0.03	0.12 ± 0.03	1.7 ± 0.6	29.0 ± 6.7	8.9 ± 3.2	33.0 ± 9.4	27.1 ± 4.6
Mussel	Raw	0.5 ± 0.1	0.13 ± 0.08	ND	0.23 ± 0.05	7.5 ± 1.1	5.1 ± 1.4	0.3 ± 0.2	5.9 ± 2.3	68.5 ± 2.8	11.8 ± 1.9
Clam	Raw	0.3 ± 0.1	ND	0.2 ± 0.2	1.2 ± 0.5	4.9 ± 0.5	3.6 ± 0.9	9.4 ± 3.1	11.5 ± 0.7	66.0 ± 0.5	4.5 ± 0.9
	Cooked	1.0 ± 0.4	ND	0.4 ± 0.4	2.9 ± 1.1	4.2 ± 1.9	6.0 ± 2.6	0.1 ± 0.1	5.0 ± 1.4	73.0 ± 5.5	7.8 ± 6.5
Lake trout	Raw	ND	1.7 ± 3.5	ND	0.3 ± 0.5	96.4 ± 3.6	ND	ND	ND	ND	1.6 ± 3.2
	Cooked	ND	2.6 ± 5.2	ND	0.6 ± 0.9	91.1 ± 6.2	ND	ND	ND	ND	5.7 ± 2.9
Broth											
Fish broth	NF	ND	1.1 ± 2.0	ND	ND	91.3 ± 8.8	ND	ND	ND	ND	7.5 ± 6.9
	F	ND	ND	ND	ND	96.6 ± 1.7	ND	ND	ND	ND	3.4 ± 1.7

ND: Not detected

Supplementary Table 6. Mean values \pm standard deviations for Hazard Quotient (HQ) for the different ingredient's tissues and their broths not filtered (NF) and filtered (F) with a 0.45 μ m filter. HQ were calculated using the Probable Tolerable Dietary Intake (pTDI) for pregnant women. When HQ < 1, there is no health risk.

Ingredients		THg	MeHg	TAs	As inorganic	AsL	Cd
Tissue							
Seaweed n=5	Raw	0.0051 \pm 0.0026	0.0003 \pm 0.0002	2.27 \pm 0.95	ND	5.47 \pm 1.61	0.05 \pm 0.07
	Cooked	0.0032 \pm 0.0012	0.0003 \pm 0.0002	0.82 \pm 0.14	ND	NA	0.03 \pm 0.02
Mussel n=5	Raw	0.15 \pm 0.04	0.02 \pm 0.01	1.31 \pm 0.07	0.10 \pm 0.04	11.97 \pm 4.01	0.22 \pm 0.05
	Cooked	0.49 \pm 0.16	0.07 \pm 0.02	1.82 \pm 0.24	NA	NA	0.52 \pm 0.17
Clam n=5	Raw	0.05 \pm 0.02	0.02 \pm 0.01	0.70 \pm 0.12	0.02 \pm 0.01	3.54 \pm 0.34	0.10 \pm 0.05
	Cooked	0.09 \pm 0.02	0.05 \pm 0.02	1.15 \pm 0.17	0.05 \pm 0.03	3.22 \pm 1.18	0.13 \pm 0.03
Arctic char n=4	Raw	1.26 \pm 0.60	1.01 \pm 0.48	3.11 \pm 1.23	NA	NA	0.002 \pm 0.001
	Cooked	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	1.71 \pm 0.72	NA	NA	0.003 \pm 0.001
Lake trout n=9	Raw	49.89 \pm 22.34	47.28 \pm 22.67	0.51 \pm 1.38	NA	NA	0.003 \pm 0.001
	Cooked	60.84 \pm 28.90	57.56 \pm 26.35	0.37 \pm 0.95	NA	NA	0.005 \pm 0.006
Brook trout n=90	Raw	3.32 \pm 1.98	3.22 \pm 1.91	0.01 \pm 0.01	NA	NA	0.002 \pm 0.001
	Cooked	3.32 \pm 1.98	3.22 \pm 1.91	0.01 \pm 0.01	NA	NA	0.002 \pm 0.001
Large lake trout n=35	Raw	13.08 \pm 9.66	12.80 \pm 9.93	0.02 \pm 0.01	NA	NA	0.0009 \pm 0.0006
Small lake trout n=34	Raw	6.16 \pm 2.72	6.05 \pm 2.65	0.10 \pm 0.32	NA	NA	0.002 \pm 0.005
Lake whitefish n=101	Raw	2.65 \pm 1.75	2.52 \pm 1.69	0.04 \pm 0.03	NA	NA	0.002 \pm 0.002
Broth							
Seaweed n=5	NF	< 0.0001	NA	0.005 \pm 0.002	ND	NA	< 0.0001
	F	0.0002 \pm 0.0004	NA	0.005 \pm 0.002	ND	NA	< 0.0001
Mussel n=5	NF	< 0.0001	< 0.0001	0.004 \pm 0.001	NA	NA	0.0006 \pm 0.0005
	F	< 0.0001	< 0.0001	0.004 \pm 0.001	NA	NA	0.0002 \pm 0.0001
Clam n=5	NF	< 0.0001	< 0.0001	0.006 \pm 0.002	NA	NA	0.0003 \pm 0.0001
	F	< 0.0001	< 0.0001	0.005 \pm 0.002	NA	NA	0.0001 \pm 0.0001
Arctic char n=4	NF	< 0.0001	< 0.0001	0.005 \pm 0.002	NA	NA	< 0.0001
	F	< 0.0001	< 0.0001	0.005 \pm 0.002	NA	NA	< 0.0001
Lake trout n=9	NF	0.0006 \pm 0.0008	0.0005 \pm 0.0008	0.21 \pm 0.25	NA	NA	0.0005 \pm 0.0006
	F	0.0001 \pm 0.0001	0.0002 \pm 0.0002	0.21 \pm 0.25	NA	NA	0.0005 \pm 0.0006

NA: not applicable, MeHg were not measured in seaweed broth and As speciation was not done in the other fish species

ND: not detected

Chapitre 3 : Conclusions et perspectives

3.1 Retour sur les objectifs

Mon projet de mémoire avait comme objectif principal d'optimiser une recette traditionnelle à base de poisson pour améliorer les apports nutritionnels et minimiser l'exposition aux contaminants chez les femmes enceintes et allaitantes au Nunavik. Très peu d'études ont évalué la répartition des nutriments et des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques dans les aliments traditionnels au Nunavik et leurs bouillons de cuisson ainsi que la spéciation et la bioaccessibilité de ceux-ci. À l'aide d'une approche expérimentale, différents ingrédients (poissons, algues, moules, myes et LIF) ont été bouillis et les tissus et leurs bouillons de cuisson ont été analysés pour leur concentration de nutriments et de contaminants. La spéciation de Hg et d'As a été réalisée pour mieux connaître le profil des contaminants présents dans les ingrédients, car dans le cas de l'As, ce ne sont pas toutes les formes qui sont toxiques. Des tests de bioaccessibilité sur les algues et les bivalves ont aussi été réalisés pour améliorer notre compréhension de l'apport nutritionnel et de la contamination potentielle des ingrédients ajoutés à la recette. En utilisant tous les résultats obtenus, une recette optimale a été proposée pour les femmes enceintes et allaitantes.

3.1.1 Les nutriments dans les ingrédients de la recette

Les premiers sous-objectifs étaient de déterminer les concentrations de nutriments qui se trouvaient dans les ingrédients et leurs bouillons de cuisson. Pour la plupart des espèces de poisson analysées, les concentrations de nutriments dans les tissus crus n'étaient pas significativement différentes les unes des autres (Supplementary Fig. 6). À l'exception des grosses truites grises utilisées pour les recettes et des ombles chevaliers, tous les tissus crus provenaient d'une seule rivière à Inukjuak. Les résultats obtenus ne sont donc pas représentatifs des autres poissons qui peuvent être pêchés en lac. Une rivière peut avoir une plus forte circulation d'eau et par exemple, des métaux comme le Hg sont connus pour accumuler plus dans des poissons en lac quand rivière (McKinney & Chételat,

2021). Des études futures devraient regarder l'ensemble des espèces provenant de différents lacs et rivières au Nunavik pour confirmer si les concentrations de nutriments et de contaminants seraient significativement différentes d'une région à l'autre.

Les deux espèces choisies pour les recettes de bouillon, soit l'omble chevalier et la truite grise, font partie des espèces les plus consommées au Nunavik (Allaire et al., 2021 ; Lemire et al., 2019). Les bouillons avaient de faibles concentrations en nutriments, mais les muscles des deux espèces étaient d'excellentes sources de Mg, de Zn, de Se et de K même avec la perte en concentration durant la cuisson (Table 2). Les joues, les langues et les cerveaux étaient de moins bonnes sources en nutriments et souvent les langues et les cerveaux avaient les plus basses contributions (Supplementary Fig. 8). Une explication pourrait être que le cerveau contient plus de lipides que le muscle et que les nutriments se lient moins aux lipides (Hong et al., 2014). De plus, il est connu que le changement en contenu de lipides et de protéines dans un tissu peut affecter comment les métaux et les métalloïdes se distribuent, et donc les nutriments peuvent réagir similairement (Johnston, 1975). Une prochaine étape serait d'évaluer la composition en lipides et en protéines de ces tissus dans les poissons pour mieux comprendre où les nutriments s'accumulent.

La consommation de bouillon à base de poisson est recommandée pour les femmes enceintes et allaitantes, qui sont plus à risque de développer des carences en Fe et en Ca. Comme mentionné plus haut, les poissons et les bouillons que nous avons analysés n'étaient pas une bonne source de Fe et de Ca (Table 2). Alors d'autres ingrédients comme les bivalves et les algues ont été bouillis et analysés. Ceux-ci étaient d'excellentes sources de Ca, de Mg et de Zn et en Fe pour les bivalves (Table 2). Toutefois, comme pour les poissons, les bouillons de bivalves et d'algues ne contribuaient pas de façon importante à l'apport alimentaire en Fe et en Ca. Alors, les femmes enceintes devraient consommer ces ingrédients dans le bouillon pour y avoir les apports alimentaires en Fe et en Ca. Les bouillons pourraient quand même être riches en nutriments autres que ceux mesurés tels que des acides gras oméga-3 polyinsaturés et des vitamines lipophiles comme

les vitamines C et E. De prochaines études devraient explorer le contenu en nutriments présents dans les bouillons issus des différents ingrédients pour mieux comprendre leurs contributions et les bénéfices que ceux-ci apportent aux femmes enceintes et allaitantes.

Un autre ingrédient testé pour augmenter l'apport en Fe des bouillons a été exploré dans notre troisième sous-objectif avec le LIF. Après l'avoir conditionné dans de l'eau avec un pH 3,5 (8,95 mL de jus de citron dans 1 L d'eau) pour une heure, celui-ci relâchait moins de 2 mg de Fe pour une tasse de 250 mL pour tous les scénarios de pH sauf celui de 3,5 (Figure 3). Les indications du fabricant prévoyaient une émission de 6 à 8 mg de Fe lorsqu'il est bouilli dans 1 L d'eau pour 10 minutes à un pH de 6,5 sans être conditionné (Armstrong, 2016 ; Charles, 2012). Selon notre scénario avec les données présentées pour une cuisson dans un pot de 5 L, une femme enceinte devrait consommer 20 tasses ou environ 5 L de ce bouillon pour avoir des apports similaires à ceux du fabricant. Cependant, une personne ne conditionnera pas le LIF chez eux et une femme enceinte ne consommera pas ce volume de bouillon en une journée. Une limitation de nos expériences était que nous avons seulement testé le LIF seul et en utilisant que du jus de citron. Des études futures peuvent regarder si en changeant la température, en ajoutant d'autres types d'acide, ou en le bouillant dans des conditions similaires à une soupe, il y aurait plus de Fe relâché.

3.1.2 Les métaux et métalloïdes dans les ingrédients

Parmi les premiers sous-objectifs, il y avait aussi comme but de déterminer les concentrations en métaux et en métalloïdes dans les ingrédients et les bouillons. Les concentrations pour la plupart des ingrédients étaient inférieures à la valeur maximale recommandée pour les poissons et les bivalves en THg (0.5 µg/g ww), pour les poissons (0.05 µg/g ww) et les bivalves (1 µg/g ww) en Cd et pour tous en TAs (3.5 µg/g ww) (European Commission, 2021 ; Health Canada, 2007, 2022). Les exceptions étaient pour les grosses truites grises avec des concentrations élevées en THg et deux échantillons d'algues crues avec des concentrations élevées en TAs. Nous avons fait la spéciation du Hg et de l'As pour mieux connaître les risques toxiques, car pour le cas de l'As ce

n'est pas toutes les espèces qui sont toxiques. La spéciation du Hg a montré que les poissons contenaient 90 % de MeHg, à l'exception de l'omble chevalier à 81 %, les algues en contenaient 8 %, les moules 13 % et les myes 49 % (Supplementary Table 4). Les espèces marines (algue, moule, mye) avaient des pourcentages plus faibles en MeHg suggérant que les organismes marins accumuleraient moins de MeHg ou qu'il y en aurait moins de présent dans l'environnement. La spéciation du Hg dans les bouillons de bivalves montrait que ceux-ci contenaient plus de 50 % de Hg sous forme de MeHg et ceux des poissons étaient pour la plupart majoritairement du MeHg (Supplementary Table 4). Pour les moules, il y avait un pourcentage plus élevé en MeHg dans le bouillon comparé au tissu. Ceci indique que parmi les formes de Hg présent, le MeHg est celui qui se transfère le mieux vers le bouillon. Alors bien que les concentrations en MeHg étaient faibles pour nos bouillons, des études futures sur le CF avec de hautes concentrations en Hg, devraient considérer que le MeHg serait la forme majoritaire dans les bouillons et évaluer s'il y a un risque de sa présence.

La spéciation de l'As a été faite seulement sur les algues, les bivalves et la truite grise due à une contrainte de temps. La spéciation démontrait que les algues contenaient environ 40 % d'As-Sug et 33 % d'AsL et les bivalves contenaient moins de 20 % d'As-Sug et 66 à 73 % d'AsL (Supplementary Table 5). La toxicité des As-Sug et des AsL est encore en train d'être évaluée, mais il semblerait que certaines espèces d'AsL peuvent potentiellement être toxiques (Andrewes et al., 2004 ; Cherry et al., 2019 ; Erickson et al., 2019 ; Feldmann & Krupp, 2011). Il faudrait plus d'études pour comprendre la toxicité surtout si des aliments traditionnels comme les algues et les bivalves sont consommés plus fréquemment. Pour les truites grises (une espèce d'eau douce), les tissus contenaient moins d'As que l'omble chevalier (une espèce marine), mais les bouillons de truites grises avaient des échantillons plus élevés que 100 µg/L et la valeur maximale recommandée pour l'eau potable en TAs est de 10 µg/L (Supplementary Fig. 2). Cependant, la spéciation démontrait que les muscles et les bouillons de truites grises contenaient plus de 90 % d'AsB qui est

une forme non-toxique (Supplementary Table 5). Il serait intéressant d'évaluer la spéciation de l'omble chevalier et des bouillons d'autres ingrédients comme les bivalves et les algues pour regarder comment la spéciation d'As se différencie entre les ingrédients d'eau douce et d'eau marine.

3.1.3 La bioaccessibilité

Le quatrième sous-objectif était d'estimer la bioaccessibilité des nutriments et des métaux et des métalloïdes potentiellement toxiques dans les algues et les bivalves en utilisant une approche hybride in vitro. La méthode utilisée était optimisée pour le THg, mais à des fins exploratoires, les autres éléments ont été mesurés. Malheureusement, les enzymes utilisées contenaient des quantités importantes de nutriments qu'on mesurait, donc seulement les estimations pour les métaux et les métalloïdes potentiellement toxiques ont été rapportées. Si la même méthode était utilisée dans le futur, il faudrait l'optimiser pour les nutriments en purifiant les enzymes par exemple ou en mesurant précisément leur contribution afin de mieux comprendre leur interaction lors de la digestion. Les tests de bioaccessibilité pour les algues et les bivalves ont estimé que 25 % à 50 % du THg (avec 2 exceptions à 75 %), 100 % du Cd et soit 40 % (algues) ou 100 % (bivalves) du TAs seraient bioaccessibles lors de la digestion. Les concentrations de Cd dans nos bivalves, et particulièrement dans les moules cuites, étaient proches de la valeur maximale recommandée pour la consommation de ces aliments. Nos tests de bioaccessibilité démontraient que 100 % du Cd ingéré deviendraient bioaccessible, donc il devrait y avoir plus d'études mesurant les concentrations de Cd dans les espèces de bivalves au Nunavik pour mieux évaluer le risque si ces aliments sont consommés plus fréquemment. En plus, la spéciation du Hg et de l'As devrait être considérée pour mieux évaluer la quantité d'As et de Hg qui pose un danger lors de la digestion.

Les tests de bioaccessibilité ont été faits sur des aliments cuits dans un laboratoire sous conditions contrôlées. Dans l'étude, on ne regardait pas l'impact de l'interaction entre les différents ingrédients et leur influence lors de la digestion. Un exemple serait avec le fer non

hémique qui provient principalement des aliments végétaux. Le fer non hémique est un nutriment très complexe et doit passer à travers une série de transformations avant d'être absorbé par l'intestin (Anderson et al., 2005). Durant un test in vitro de digestion, une étude par Doumani et al. (2020) a observé que la présence de jus de citron pouvait accroître l'absorption du fer non hémique. En fait, les auteurs expliquent que c'est la présence de la vitamine C et des acides organiques qui se chélatent au Fe qui permet au Fe d'être plus soluble et aide à son absorption (Doumani et al., 2020 ; Salovaara et al., 2002 ; Takatera et al., 2012). Nos tests avec le LIF démontraient qu'en augmentant la concentration de jus de citron, plus de Fe était relâché lors de la cuisson supportant l'idée que le jus de citron rende le Fe non hémique plus soluble (Figure 3). Cependant, le LIF est un morceau de Fe et ne reflète pas comment un aliment traditionnel comme une algue ou une moule pourrait réagir. L'algue est le seul aliment qui a été testé dans différentes conditions incluant la cuisson à l'eau bouillante en présence de jus de citron. Nos résultats montraient que même avec l'ajout du jus de citron, il n'y avait pas plus de Fe (et d'autres nutriments) relâché dans le bouillon (Supplementary Fig. 3). Peut-être qu'une quantité plus grande de jus de citron serait nécessaire pour observer un effet. De plus, des tests avec d'autres aliments traditionnels pourraient être faits pour comparer et aussi des tests sur les interactions potentielles entre les ingrédients lors de la cuisson et de la digestion pour mieux évaluer les impacts sur la bioaccessibilité des éléments.

3.2 Perspectives de l'étude

Mon projet est issu d'une volonté de répondre à une question d'inquiétude sur les bouillons à base de poisson pour les communautés participant à la consultation de 2019. Dans l'optique de créer un projet de mémoire, nous avons développé l'idée d'optimiser une recette en nutriments pour les femmes enceintes et allaitantes. Les femmes enceintes et allaitantes ont des besoins nutritionnels quotidiens plus élevés et c'est important que ceux-ci soient rencontrés pour la santé de la mère et pour la bonne croissance de l'enfant. La sécurité alimentaire est un enjeu important au Nunavik et

le risque de développer une carence de Fe ou Ca est plus important durant la grossesse (Balendran & Forsyth, 2021 ; Gagné et al., 2012 ; Kovacs & Fuleihan, 2006 ; Lavoie et al., 2021 ; Pirkle et al., 2014). Les résultats ont été partagés avec la RRSSN et les collègues inuits lors de leur conférence annuelle à Québec en 2023. Pour faciliter la diffusion de l'information dans les centres de santé et de maternité au Nunavik, un résumé vulgarisé des résultats clés sous forme d'une affiche ou une bande dessinée sera fait et pourra être utilisé pour développer des recommandations par les instances de santé publique. Bien que mon projet évalue l'optimisation d'un bouillon à base de poisson, je crois que les ingrédients choisis peuvent être ajoutés à plusieurs autres types de recettes. Les algues et les bivalves (en évaluant les risques d'une consommation accrue) sont des sources excellentes en nutriments et pour les communautés côtières, on peut les cueillir à longueur d'année. De plus, l'idée d'optimiser la recette avec des ingrédients se trouvant sur leur territoire est un moyen excellent de promouvoir la consommation de la nourriture traditionnelle.

Un autre enjeu est la manière de présenter les données surtout celles de métaux et de métalloïdes potentiellement toxiques. Dans le mémoire, on parle principalement de concentrations, mais il y a mention de quotient de risque qui prend en considération la consommation journalière d'un aliment et peut parfois surestimer la contamination possible. Dans notre cas, tous les poissons avaient des valeurs au-dessus de 1 pour le THg et présentaient tous un risque potentiel lié au contenu en THg. Cependant, il faut prendre en compte que le poisson n'est pas consommé quotidiennement. La consommation de poissons contribue à la sécurité alimentaire et aux apports en nutriments dans les communautés inuites. Un autre exemple est les moules qui sont riche en Fe et autres nutriments, mais ont des concentrations élevées en Cd. Alors, il faut bien considérer une balance entre le risque et les bénéfices de consommer ces aliments. De plus, la spéciation peut être un critère important à considérer comme pour l'As. Les valeurs maximales recommandées pour le TAs dans le poisson commercial sont de 3,5 µg/g, mais la spéciation a montré que 90 % de l'As est sous forme d'AsB dans la truite grise (Health Canada, 2022). La bioaccessibilité est aussi un critère important. Par

exemple, le THg de nos ingrédients est entre 25 % et 50 % bioaccessible, donc 50 % ou moins du THg ingéré a le potentiel d'être absorbé. Si on consommait une moule, environ 15 % du Hg présent est sous forme de MeHg et cela voudrait dire que du 50 % de THg bioaccessible, une très petite quantité serait du MeHg. Alors c'est très important d'adéquatement communiquer les résultats pour ne pas engendrer la peur ou la confusion d'un aliment.

En conclusion, selon nos résultats, une recette optimale serait faite d'un poisson autre que la grosse truite grise bien que cette espèce soit une bonne source de nutriments, puisque les concentrations en Hg étaient très élevées, surtout dans les joues et les muscles. Cependant, le bouillon d'une recette faite avec de grosses truites grises peut être consommé, car très peu de Hg se transfèrent vers le bouillon lors de la cuisson et l'As présent est principalement de l'AsB. La recette inclurait aussi des algues et des bivalves pour augmenter le contenu nutritionnel. Lors de la cuisson de cette recette, très peu de nutriments, de métaux et de métalloïdes (sauf pour l'As) sont relâchés dans le bouillon. Donc, les ingrédients devraient être consommés en entier pour contribuer à l'apport nutritionnel. De plus, le risque d'exposition aux métaux et aux métalloïdes est faible en prenant en compte la spéciation et la bioaccessibilité de ceux-ci dans ces ingrédients. Cette recette optimale améliore les apports nutritionnels de la recette traditionnelle à base de poisson et minimise l'exposition aux contaminants chez les femmes enceintes et allaitantes au Nunavik.

Bibliographie

- Achouba, A., Dumas, P., Ouellet, N., Little, M., Lemire, M., & Ayotte, P. (2019). Selenoneine is a major selenium species in beluga skin and red blood cells of Inuit from Nunavik. *Chemosphere*, 229, 549–558. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.191>
- Adlard, B., Lemire, M., Bonefeld-Jørgensen, E. C., Long, M., Ólafsdóttir, K., Odland, J. O., Rautio, A., Myllynen, P., Sandanger, T. M., Dudarev, A. A., Bergdahl, I. A., Wennberg, M., Berner, J., & Ayotte, P. (2021). MercuNorth – monitoring mercury in pregnant women from the Arctic as a baseline to assess the effectiveness of the Minamata Convention. *International Journal of Circumpolar Health*, 80(1), 1881345. <https://doi.org/10.1080/22423982.2021.1881345>
- Afonso, C., Costa, S., Cardoso, C., Oliveira, R., Lourenço, H. M., Viula, A., Batista, I., Coelho, I., & Nunes, M. L. (2015). Benefits and risks associated with consumption of raw, cooked, and canned tuna (*Thunnus* spp.) based on the bioaccessibility of selenium and methylmercury. *Environmental Research*, 143, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.04.019>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). *Toxicological Profile for Cadmium*. 487.
- Allaire, J., Johnson-Down, L., Little, M., Ayotte, P., & Lemire, M. (2021). *COUNTRY AND MARKET FOOD CONSUMPTION AND NUTRITIONAL STATUS QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey*.
- Almela, C., Laparra, J. M., Vélez, D., Barberá, R., Farré, R., & Montoro, R. (2005). Arsenosugars in Raw and Cooked Edible Seaweed: Characterization and Bioaccessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(18), 7344–7351. <https://doi.org/10.1021/jf050503u>
- Amlund, H., Lundebye, A.-K., & Berntssen, M. H. G. (2007). Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology*, 83(4), 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.05.008>

- Amyot, M., Husser, E., St-Fort, K., & Ponton, D. E. (2023). Effect of cooking temperature on metal concentrations and speciation in fish muscle and seal liver. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262, 115184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115184>
- Anderson, G. J., Frazer, D. M., McKie, A. T., Vulpe, C. D., & Smith, A. (2005). Mechanisms of Haem and Non-Haem Iron Absorption: Lessons from Inherited Disorders of Iron Metabolism. *BioMetals*, 18(4), 339–348. <https://doi.org/10.1007/s10534-005-3708-8>
- Andrewes, P., DeMarini, D. M., Funasaka, K., Wallace, K., Lai, V. W. M., Sun, H., Cullen, W. R., & Kitchin, K. T. (2004). Do Arsenosugars Pose a Risk to Human Health? The Comparative Toxicities of a Trivalent and Pentavalent Arsenosugar. *Environmental Science & Technology*, 38(15), 4140–4148. <https://doi.org/10.1021/es035440f>
- Armstrong, G. (2016). *COMMERCIALIZING THE LUCKY IRON FISH™ USING SOCIAL ENTERPRISE: A NOVEL HEALTH INNOVATION FOR IRON DEFICIENCY AND ANEMIA IN CAMBODIA AND BEYOND*.
- Balendran, S., & Forsyth, C. (2021). Non-anaemic iron deficiency. *Australian Prescriber*, 44(6), 193–196. <https://doi.org/10.18773/austprescr.2021.052>
- Baltussen, R., Knai, C., & Sharan, M. (2004). Iron Fortification and Iron Supplementation are Cost-Effective Interventions to Reduce Iron Deficiency in Four Subregions of the World. *The Journal of Nutrition*, 134(10), 2678–2684. <https://doi.org/10.1093/jn/134.10.2678>
- Basu, N., Horvat, M., Evers, D. C., Zastenskaya, I., Weihe, P., & Tempowski, J. (2018). A State-of-the-Science Review of Mercury Biomarkers in Human Populations Worldwide between 2000 and 2018. *Environmental Health Perspectives*, 126(10), 106001. <https://doi.org/10.1289/EHP3904>
- Bebianno, M. J., Nott, J. A., & Langston, W. J. (1993). Cadmium metabolism in the clam *Ruditapes decussata*: The role of metallothioneins. *Aquatic Toxicology*, 27(3–4), 315–333. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(93\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0166-445X(93)90061-5)

- Bernabeu De Maria, M., Lamarche, J., Ronga, L., Messori, L., Szpunar, J., & Lobinski, R. (2023). Selenol (-SeH) as a target for mercury and gold in biological systems: Contributions of mass spectrometry and atomic spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 474, 214836. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214836>
- Berti, P. R., Soueida, R., & Kuhnlein, H. V. (2008). Dietary assessment of Indigenous Canadian Arctic women with a focus on pregnancy and lactation. *International Journal of Circumpolar Health*, 67(4), 349–362. <https://doi.org/10.3402/ijch.v67i4.18340>
- Blanchet, C., Dewailly, É., Ayotte, P., Bruneau, S., Receveur, O., & Holub, B. J. (2000). Contribution of selected traditional and market foods to the diet of Nunavik Inuit women. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 61(2), 50–59.
- Blanchet, C., & Rochette, L. (2008). *Nutrition and food consumption among the Inuit of Nunavik*. Régie régionale de la santé et des Services sociaux, Nunavik.
- Bornhorst, J., Ebert, F., Meyer, S., Ziemann, V., Xiong, C., Guttenberger, N., Raab, A., Baesler, J., Aschner, M., Feldmann, J., Francesconi, K., Raber, G., & Schwerdtle, T. (2020). Toxicity of three types of arsenolipids: Species-specific effects in *Caenorhabditis elegans*. *Metallomics*, 12(5), 794–798. <https://doi.org/10.1039/d0mt00039f>
- Brainard, A. M., Korovkina, V. P., & England, S. K. (2007). Potassium channels and uterine function. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 18(3), 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2007.05.008>
- Braune, B. M., Outridge, P. M., Fisk, A. T., Muir, D. C. G., Helm, P. A., Hobbs, K., Hoekstra, P. F., Kuzyk, Z. A., Kwan, M., Letcher, R. J., Lockhart, W. L., Norstrom, R. J., Stern, G. A., & Stirling, I. (2005). Persistent organic pollutants and mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends. *Science of The Total Environment*, 351–352, 4–56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.034>
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourliou-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D.,

- Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., ...
Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion.
Nature Protocols, 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Burger, J., Dixon, C., Boring, S., & Gochfeld, M. (2003). Effect of Deep-Frying Fish on Risk
from Mercury. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 66(9), 817–828.
<https://doi.org/10.1080/15287390306382>
- Carpenter, C. E., & Mahoney, A. W. (1992). Contributions of heme and nonheme iron to human
nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31(4), 333–367.
<https://doi.org/10.1080/10408399209527576>
- Charette, T., Bueno Dalto, D., Rosabal, M., Matte, J., & Amyot, M. (2021). Assessment of In
Vitro Bioaccessibility and In Vivo Oral Bioavailability as Complementary Tools to Better
Understand the Effect of Cooking on Methylmercury, Arsenic, and Selenium in Tuna.
Toxics, 9(2), 27. <https://doi.org/10.3390/toxics9020027>
- Charette, T., Kaminski, G., Rosabal, M., & Amyot, M. (2021). Effects of Speciation, Cooking
and Changes in Bioaccessibility on Methylmercury Exposure Assessment for Contrasting
Diets of Fish and Marine Mammals. *International Journal of Environmental Research
and Public Health*, 18(5), 2565. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052565>
- Charette, T., Rosabal, M., & Amyot, M. (2021). Mapping metal (Hg, As, Se), lipid and protein
levels within fish muscular system in two fish species (Striped Bass and Northern Pike).
Chemosphere, 265, 129036. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129036>
- Charles, C. (2012). *Happy Fish: A Novel Supplementation Technique to Prevent Iron Deficiency
Anemia in Women in Rural Cambodia*.
- Cherry, P., O'Hara, C., Magee, P. J., McSorley, E. M., & Allsopp, P. J. (2019). Risks and benefits
of consuming edible seaweeds. *Nutrition Reviews*, 77(5), 307–329.
<https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy066>

- Cheyns, K., Waegeneers, N., Van De Wiele, T., & Ruttens, A. (2017). Arsenic Release from Foodstuffs upon Food Preparation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2443–2453. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05721>
- Choi, H. J., Ji, J., Chung, K.-H., & Ahn, I.-Y. (2007). Cadmium bioaccumulation and detoxification in the gill and digestive gland of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 145(2), 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.12.005>
- Circuncisão, A., Catarino, M., Cardoso, S., & Silva, A. (2018). Minerals from Macroalgae Origin: Health Benefits and Risks for Consumers. *Marine Drugs*, 16(11), 400. <https://doi.org/10.3390/md16110400>
- Cirtiu, C. M., Valcke, M., Gagné, M., Bourgault, M.-H., Naramé, C., Gadio, S., Poulin, P., & Ayotte, P. (2022). Biological monitoring of exposure to rare earth elements and selected metals in the Inuit population of Nunavik, Canada. *Chemosphere*, 289, 133142. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133142>
- Clarkson, T. W. (2002). The three modern faces of mercury. *Environmental Health Perspectives*, 110(suppl 1), 11–23. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s111>
- Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019). Calcium Intake and Health. *Nutrients*, 11(7), 1606. <https://doi.org/10.3390/nu11071606>
- Costa, S., Afonso, C., Bandarra, N. M., Gueifão, S., Castanheira, I., Carvalho, M. L., Cardoso, C., & Nunes, M. L. (2013). The emerging farmed fish species meagre (*Argyrosomus regius*): How culinary treatment affects nutrients and contaminants concentration and associated benefit-risk balance. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.050>
- Devesa, V., Martínez, A., Súnier, M. A., Vélez, D., Almela, C., & Montoro, R. (2001). Effect of Cooking Temperatures on Chemical Changes in Species of Organic Arsenic in Seafood.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2272–2276.
<https://doi.org/10.1021/jf0013297>
- Devesa, V., Vélez, D., & Montoro, R. (2008). Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. *Food and Chemical Toxicology*, 46(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.08.021>
- Doumani, N., Severin, I., Dahbi, L., Bou-Maroun, E., Tueni, M., Sok, N., Chagnon, M.-C., Maalouly, J., & Cayot, P. (2020). Lemon Juice, Sesame Paste, and Autoclaving Influence Iron Bioavailability of Hummus: Assessment by an In Vitro Digestion/Caco-2 Cell Model. *Foods*, 9(4), 474. <https://doi.org/10.3390/foods9040474>
- Edmonds, J. S., & Francesconi, K. A. (1987). Transformations of arsenic in the marine environment. *Experientia*, 43(5), 553–557. <https://doi.org/10.1007/BF02143584>
- Edmonds, J. S., & Francesconi, K. A. (1998). Arsenic metabolism in aquatic ecosystems. In W. J. Langston & M. J. Bebianno (Eds.), *Metal Metabolism in Aquatic Environments* (pp. 159–183). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2761-6_6
- Edmonds, J. S., Francesconi, K. A., & Stick, R. V. (1993). Arsenic compounds from marine organisms. *Natural Product Reports*, 10(4), 421. <https://doi.org/10.1039/np9931000421>
- Egeland, G. M., Charbonneau-Roberts, G., Kuluguqtuq, J., Kilabuk, J., Okalik, L., Soueida, R., & Kuhnlein, H. V. (2009). *Back to the future: Using traditional food and knowledge to promote a healthy future among Inuit*.
- El Hanafi, K., Pedrero, Z., Ouerdane, L., Marchán Moreno, C., Queipo-Abad, S., Bueno, M., Pannier, F., Corns, W. T., Cherel, Y., Bustamante, P., & Amouroux, D. (2022). First Time Identification of Selenoneine in Seabirds and Its Potential Role in Mercury Detoxification. *Environmental Science & Technology*, 56(5), 3288–3298.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04966>
- Erickson, R. J., Mount, D. R., Highland, T. L., Hockett, J. R., Hoff, D. J., Jenson, C. T., & Lahren, T. J. (2019). The effects of arsenic speciation on accumulation and toxicity of

- dietborne arsenic exposures to rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 210, 227–241.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.03.001>
- European Commission. (2021). *COMMISSION REGULATION (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in certain foodstuffs* (Official Journal of the European Union).
- Feldmann, J., & Krupp, E. M. (2011). Critical review or scientific opinion paper: Arsenosugars—a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs? *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399(5), 1735–1741.
<https://doi.org/10.1007/s00216-010-4303-6>
- Fisher, A. L., & Nemeth, E. (2017). Iron homeostasis during pregnancy. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 106, 1567S-1574S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.155812>
- Fontaine, J., Dewailly, É., Benedetti, J.-L., Pereg, D., Ayotte, P., & Déry, S. (2008). Re-evaluation of blood mercury, lead and cadmium concentrations in the Inuit population of Nunavik (Québec): A cross-sectional study. *Environmental Health*, 7(1), 25.
<https://doi.org/10.1186/1476-069X-7-25>
- Furgal, C., Pirkle, C., Lemire, M., Lucas, M., & Martin, R. (2022). *FOOD SECURITY QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey*.
- Gagné, D., Blanchet, R., Lauzière, J., Vaissière, É., Vézina, C., Ayotte, P., Déry, S., & Turgeon O'Brien, H. (2012). Traditional food consumption is associated with higher nutrient intakes in Inuit children attending childcare centres in Nunavik. *International Journal of Circumpolar Health*, 71(1), 18401. <https://doi.org/10.3402/ijch.v71i0.18401>
- Garcia-Barrios, J., Drysdale, M., Ratelle, M., Gaudreau, É., LeBlanc, A., Gamberg, M., & Laird, B. D. (2021). Biomarkers of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in Sub-Arctic and Arctic communities in Canada. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 235, 113754. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113754>

- García-Casal, M. N., Pereira, A. C., Leets, I., Ramírez, J., & Quiroga, M. F. (2007). High Iron Content and Bioavailability in Humans from Four Species of Marine Algae. *The Journal of Nutrition*, *137*(12), 2691–2695. <https://doi.org/10.1093/jn/137.12.2691>
- George, G. N., Singh, S. P., Prince, R. C., & Pickering, I. J. (2008). Chemical Forms of Mercury and Selenium in Fish Following Digestion with Simulated Gastric Fluid. *Chemical Research in Toxicology*, *21*(11), 2106–2110. <https://doi.org/10.1021/tx800176g>
- Ghosh, K. (2006). Non haematological effects of iron deficiency—A perspective. *Indian Journal of Medical Sciences*, *60*(1), 30. <https://doi.org/10.4103/0019-5359.19676>
- Girard, C., Charette, T., Leclerc, M., Shapiro, B. J., & Amyot, M. (2018). Cooking and co-ingested polyphenols reduce in vitro methylmercury bioaccessibility from fish and may alter exposure in humans. *Science of The Total Environment*, *616–617*, 863–874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.236>
- Grandjean, P., Weihe, P., Debes, F., Choi, A. L., & Budtz-Jørgensen, E. (2014). Neurotoxicity from prenatal and postnatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicology and Teratology*, *43*, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2014.03.004>
- Hall, M. N., & Edwards, M. C. (1989). COMPARISON OF THE COMPOSITION OF PROCESSED AND FRESH VEGETABLES AS CONSUMED. *Acta Horticulturae*, *244*, 209–216. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.244.21>
- Hallberg, L., Björn-Rasmussen, E., Howard, L., & Rossander, L. (1979). Dietary Heme Iron Absorption: A Discussion of Possible Mechanisms for the Absorption-Promoting Effect of Meat and for the Regulation of Iron Absorption. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, *14*(7), 769–779. <https://doi.org/10.3109/00365527909181403>
- Hanaoka, K., Tagawa, S., & Kaise, T. (1992). The fate of organoarsenic compounds in marine ecosystems. *Applied Organometallic Chemistry*, *6*(2), 139–146. <https://doi.org/10.1002/aoc.590060206>

- Harris, H. H., Pickering, I. J., & George, G. N. (2003). The Chemical Form of Mercury in Fish. *Science*, 301(5637), 1203–1203. <https://doi.org/10.1126/science.1085941>
- Hartfield, D. (2010). Iron deficiency is a public health problem in Canadian infants and children. *Paediatrics & Child Health*, 15(6), 347–350. <https://doi.org/10.1093/pch/15.6.347>
- He, M., Ke, C.-H., & Wang, W.-X. (2010). Effects of Cooking and Subcellular Distribution on the Bioaccessibility of Trace Elements in Two Marine Fish Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3517–3523. <https://doi.org/10.1021/jf100227n>
- Health Canada. (1986). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline technical document: Mercury*.
- Health Canada. (2004). *Le mercure: Votre santé et l'environnement*.
- Health Canada. (2006). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline technical document: Arsenic*.
- Health Canada. (2007). *Human health risk assessment of mercury in fish and health benefits of fish consumption*. Health Canada, Bureau of Chemical Safety.
- Health Canada. (2010). *Dietary Reference Intakes Definitions and Tables*.
- Health Canada. (2019). *Staying Safe around Treated Wood*.
- Health Canada. (2020). *Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline technical document : cadmium*. Health Canada = Santé Canada.
- Health Canada. (2022). *List of contaminants and other adulterating substances in foods*. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/food-safety/chemical-contaminants/contaminants-adulterating-substances-foods.html>
- Health Canada. (2023, September). *Dietary reference intakes for elements*. Dietary reference intakes for elements - Canada.ca.html
- Hodgins, S., Dewailly, E., Chatwood, S., Bruneau, S., & Bemier, F. (1998). *Iron-deficiency anemia in Nunavik: Pregnancy and infancy*. 6.

- Hong, H., Zhou, Y., Wu, H., Luo, Y., & Shen, H. (2014). Lipid Content and Fatty Acid Profile of Muscle, Brain and Eyes of Seven Freshwater Fish: A Comparative Study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(5), 795–804. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2414-5>
- Institute of Medicine. (2006). *Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements* (p. 11537). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11537>
- Inuit Tapiriit Kanatami. (2017). *An Inuit-Specific Approach for the Canadian Food Policy*.
- Izquierdo Álvarez, S., Castañón, S. G., Ruata, M. L. C., Aragüés, E. F., Terraz, P. B., Irazabal, Y. G., González, E. G., & Rodríguez, B. G. (2007). Updating of normal levels of copper, zinc and selenium in serum of pregnant women. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21, 49–52. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2007.09.023>
- Jahnen-Dechent, W., & Ketteler, M. (2012). Magnesium basics. *Clinical Kidney Journal*, 5(Suppl 1), i3–i14. <https://doi.org/10.1093/ndtplus/sfr163>
- Jaiswal, A. K., Gupta, S., & Abu-Ghannam, N. (2012). Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Irish York cabbage after blanching treatment. *Food Chemistry*, 131(1), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.032>
- Johnston, I. A. (1975). Studies on the swimming musculature of the rainbow trout.: II. Muscle metabolism during severe hypoxia. *Journal of Fish Biology*, 7(4), 459–467. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1975.tb04621.x>
- Kim, M., Kim, J., Noh, C.-H., Choi, S., Joo, Y.-S., & Lee, K.-W. (2020). Monitoring Arsenic Species Content in Seaweeds Produced off the Southern Coast of Korea and Its Risk Assessment. *Environments*, 7(9), 68. <https://doi.org/10.3390/environments7090068>
- Koch, I., McPherson, K., Smith, P., Easton, L., Doe, K. G., & Reimer, K. J. (2007). Arsenic bioaccessibility and speciation in clams and seaweed from a contaminated marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54(5), 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.12.004>

- Korus, A. (2020). Changes in the content of minerals, B-group vitamins and tocopherols in processed kale leaves. *Journal of Food Composition and Analysis*, 89, 103464.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103464>
- Kovacs, C. S., & Fuleihan, G. E.-H. (2006). Calcium and Bone Disorders During Pregnancy and Lactation. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 35(1), 21–51.
<https://doi.org/10.1016/j.ecl.2005.09.004>
- Kuhnlein, H. V., Chan, H. M., Legge, D., & Barthet, V. (2002). Macronutrient, Mineral and Fatty Acid Composition of Canadian Arctic Traditional Food. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(5), 545–566. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1066>
- Kuhnleini, H. V., & Soueida, R. (1992). Use and nutrient composition of traditional baffin inuit foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(2), 112–126.
[https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90026-G](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90026-G)
- Kumssa, D. B., Joy, E. J. M., & Broadley, M. R. (2021). Global Trends (1961–2017) in Human Dietary Potassium Supplies. *Nutrients*, 13(4), 1369. <https://doi.org/10.3390/nu13041369>
- Lai, V. (2004). Arsenic speciation in human urine: Are we all the same? *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198(3), 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2003.10.033>
- Laird, B. D., & Chan, H. M. (2013). Bioaccessibility of metals in fish, shellfish, wild game, and seaweed harvested in British Columbia, Canada. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.033>
- Lavoie, A., Lemire, M., Lévesque, B., & Ayotte, P. (2021). *IRON DEFICIENCY AND ANEMIA QANUILIRPITAA? 2017 Nunavik Inuit Health Survey*.
- Lawn, J., Canada, & Indian and Northern Affairs Canada. (2004). *Nutrition and food security in Kangiqsujuaq, Nunavik: Baseline survey for the Food Mail Pilot Project*. http://epe.lac-bac.gc.ca/100/200/301/inac-ainc/nutrition_food_kangiqsujuaq-e/kangrep04_e.pdf
- Leaner, J. J., & Mason, R. P. (2004). Methylmercury uptake and distribution kinetics in sheepshead minnows, *Cyprinodon variegatus*, after exposure to CH₃ Hg-spiked food.

- Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(9), 2138–2146. <https://doi.org/10.1897/03-258>
- Lehnherr, I. (2014). Methylmercury biogeochemistry: A review with special reference to Arctic aquatic ecosystems. *Environmental Reviews*, 22(3), 229–243. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0059>
- Lemire, M., Brisson, M., Ricard, S., Pontual, M. de M., Gagné, E., & Gauthier, M.-J. (2019). *Consultations Summary for the Nutaratsaliit Qanuingsiarningit Nigituinnanut – NQN (Pregnancy wellness with country foods) Project*.
- Lemire, M., Kwan, M., Laouan-Sidi, A. E., Muckle, G., Pirkle, C., Ayotte, P., & Dewailly, E. (2015). Local country food sources of methylmercury, selenium and omega-3 fatty acids in Nunavik, Northern Quebec. *Science of The Total Environment*, 509–510, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.102>
- Lemire, M., Lavoie, A., Pontual, M., Little, M., Lévesque, B., & Ayotte, P. (2021). *Environmental Contaminants: Metals—Qanuilirpitaa? 2017—Nunavik Inuit Health Survey*. 42.
- Lescord, G. L., Johnston, T. A., Ponton, D. E., Amyot, M., Lock, A., & Gunn, J. M. (2022). The speciation of arsenic in the muscle tissue of inland and coastal freshwater fish from a remote boreal region. *Chemosphere*, 308, 136140. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136140>
- Liao, W., Zhao, W., Wu, Y., Rong, N., Liu, X., Li, K., & Wang, G. (2020). Multiple metal(loid)s bioaccessibility from cooked seafood and health risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(11), 4037–4050. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00661-9>
- Little, M., Achouba, A., Dumas, P., Ouellet, N., Ayotte, P., & Lemire, M. (2019). Determinants of selenoneine concentration in red blood cells of Inuit from Nunavik (Northern Québec,

- Canada). *Environment International*, 127, 243–252.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.077>
- Little, M., Hagar, H., Zivot, C., Dodd, W., Skinner, K., Kenny, T.-A., Caughey, A., Gaupholm, J., & Lemire, M. (2020). *Drivers and health implications of the dietary transition among Inuit in the Canadian Arctic: A scoping review*. 19.
- Lockhart, W. L., Stern, G. A., Low, G., Hendzel, M., Boila, G., Roach, P., Evans, M. S., Billeck, B. N., DeLaronde, J., Friesen, S., Kidd, K., Atkins, S., Muir, D. C. G., Stoddart, M., Stephens, G., Stephenson, S., Harbicht, S., Snowshoe, N., Grey, B., ... DeGraff, N. (2005). A history of total mercury in edible muscle of fish from lakes in northern Canada. *Science of The Total Environment*, 351–352, 427–463.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.027>
- Maehre, H. K., Malde, M. K., Eilertsen, K.-E., & Elvevoll, E. O. (2014). Characterization of protein, lipid and mineral contents in common Norwegian seaweeds and evaluation of their potential as food and feed: Biochemical composition of marine macroalgae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(15), 3281–3290.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6681>
- McKinney, M., & Chételat, J. (2021). *Ch 5 Climate Change and Mercury—AMAP Mercury Assessment*.
- Mihailovič, M., Cvetkovč, M., Ljubič, A., Kosanovič, M., Nedeljkovič, S., Jovanovič, I., & Pešut, O. (2000). Selenium and Malondialdehyde Content and Glutathione Peroxidase Activity in Maternal and Umbilical Cord Blood and Amniotic Fluid. *Biological Trace Element Research*, 73(1), 47–54. <https://doi.org/10.1385/BTER:73:1:47>
- Ministère de la Santé. (2013). *Nutrition Fact Sheet Series Inuit Traditional Foods*.
- Mistry, H. D., Kurlak, L. O., Young, S. D., Briley, A. L., Broughton Pipkin, F., Baker, P. N., & Poston, L. (2014). Maternal selenium, copper and zinc concentrations in pregnancy associated with small-for-gestational-age infants: Micronutrient concentrations, SGA and

- adolescence. *Maternal & Child Nutrition*, 10(3), 327–334. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8709.2012.00430.x>
- Mürer, A. J. L., Abildtrup, A., Poulsen, O. M., & Christensen, J. M. (1992). Effect of seafood consumption on the urinary level of total hydride-generating arsenic compounds. Instability of arsenobetaine and arsenocholine. *The Analyst*, 117(3), 677–680. <https://doi.org/10.1039/AN9921700677>
- Nielsen, F. H. (2018). Magnesium deficiency and increased inflammation: Current perspectives. *Journal of Inflammation Research*, Volume 11, 25–34. <https://doi.org/10.2147/JIR.S136742>
- Nong, Q., Dong, H., Liu, Y., Liu, L., He, B., Huang, Y., Jiang, J., Luan, T., Chen, B., & Hu, L. (2021). Characterization of the mercury-binding proteins in tuna and salmon sashimi: Implications for health risk of mercury in food. *Chemosphere*, 263, 128110. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128110>
- NRRHSS. (2023). *Healthy Eating—Nunavik Regional Board of Health and Social Services*. [Healthy Eating _ Nunavik Regional Board of Health and Social Services.html](https://www.nunavik.ca/Healthy-Eating/_Nunavik-Regional-Board-of-Health-and-Social-Services.html)
- Nygård, T. (2019). *LIQUID LOSSES FROM ATLANTIC COD (GADUS MORHUA) DURING HEAT TREATMENT*.
- Peterson, S. A., Ralston, N. V. C., Whanger, P. D., Oldfield, J. E., & Mosher, W. D. (2009). Selenium and Mercury Interactions with Emphasis on Fish Tissue. *Environmental Bioindicators*, 4(4), 318–334. <https://doi.org/10.1080/15555270903358428>
- Pieczynska, J., & Grajeta, H. (2015). The role of selenium in human conception and pregnancy. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 29, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.003>
- Pirkle, C. M., Lucas, M., Dallaire, R., Ayotte, P., Jacobson, J. L., Jacobson, S. W., Dewailly, E., & Muckle, G. (2014). Food insecurity and nutritional biomarkers in relation to stature in

- Inuit children from Nunavik. *Canadian Journal of Public Health*, 105(4), e233–e238.
<https://doi.org/10.17269/cjph.105.4520>
- Pirkle, C. M., Muckle, G., & Lemire, M. (2016). Managing mercury exposure in northern Canadian communities. *Canadian Medical Association Journal*, 188(14), 1015–1023.
<https://doi.org/10.1503/cmaj.151138>
- Pontual, M. de M., Ayotte, P., Little, M., Furgal, C., Boyd, A. D., Muckle, G., Avard, E., Ricard, S., Gauthier, M.-J., Sidi, E. A.-L., & Lemire, M. (2021). Seasonal variations in exposure to methylmercury and its dietary sources among pregnant Inuit women in Nunavik, Canada. *Science of The Total Environment*, 755, 143196.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143196>
- Popowich, A., Zhang, Q., & Le, X. C. (2016). Arsenobetaine: The ongoing mystery. *National Science Review*, 3(4), 451–458. <https://doi.org/10.1093/nsr/nww061>
- Pritchard, J. A. (1965). Changes in the Blood Volume During Pregnancy and Delivery. *Anesthesiology*, 26(4), 393–399. <https://doi.org/10.1097/00000542-196507000-00004>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement. (2019). *La Convention de Minamata sur le mercure—Texte et Annexes*.
- Public health Manitoba. (2007). *Arsenic*.
- Puupponen-Pimiä, R., Häkkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A.-M., Eurola, M., Piironen, V., Nuutila, A. M., & Oksman-Caldentey, K.-M. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways: Effect of blanching and freezing on vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14), 1389–1402. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1589>
- Rapinski, M., Cuerrier, A., Harris, C., Ivujivik, E. of, Kangiqsujuaq, E. of, & Lemire, M. (2018). Inuit Perception of Marine Organisms: From Folk Classification to Food Harvest. *Journal of Ethnobiology*, 38(3), 333. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-38.3.333>

- Reimer, K. J., Koch, I., & Cullen, W. R. (2010). 6. Organoarsenicals. Distribution and Transformation in the Environment. In A. Sigel, H. Sigel, & R. K. O. Sigel (Eds.), *Metal Ions in Life Sciences* (pp. 165–229). Royal Society of Chemistry.
<https://doi.org/10.1039/9781849730822-00165>
- Riisgard, H. U., Bjornestad, E., & Mohlenberg, F. (1987). Accumulation of cadmium in the mussel *Mytilus edulis*: Kinetics and importance of uptake via food and sea water. *Marine Biology*, *96*(3), 349–353. <https://doi.org/10.1007/BF00412516>
- Rodríguez-Vivaldi, A. M., & Beerman, K. (2018). Testing the efficacy of the Lucky Iron Fish® in reversing iron deficiency anemia in rural, impoverished regions of Guatemala. *Journal of Global Health Reports*, *2*, e2018014. <https://doi.org/10.29392/joghr.2.e2018014>
- Ruby, M. V., Davis, A., Link, T. E., Schoof, R., Chaney, R. L., Freeman, G. B., & Bergstrom, P. (1993). Development of an in vitro screening test to evaluate the in vivo bioaccessibility of ingested mine-waste lead. *Environmental Science & Technology*, *27*(13), 2870–2877. <https://doi.org/10.1021/es00049a030>
- Ruby, M. V., Davis, A., Schoof, R., Eberle, S., & Sellstone, C. M. (1996). Estimation of Lead and Arsenic Bioavailability Using a Physiologically Based Extraction Test. *Environmental Science & Technology*, *30*(2), 422–430. <https://doi.org/10.1021/es950057z>
- Ruperez, P. (2002). Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry*, *79*(1), 23–26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00171-1)
- Saint-Amour, D., Roy, M., Bastien, C., Ayotte, P., Dewailly, E., Despres, C., Gingras, S., & Muckle, G. (2006). Alterations of visual evoked potentials in preschool Inuit children exposed to methylmercury and polychlorinated biphenyls from a marine diet☆. *NeuroToxicology*, *27*(4), 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2006.02.008>
- Salehi, Sharifi-Rad, Seca, Pinto, Michalak, Trincone, Mishra, Nigam, Zam, & Martins. (2019). Current Trends on Seaweeds: Looking at Chemical Composition, Phytopharmacology,

- and Cosmetic Applications. *Molecules*, 24(22), 4182.
<https://doi.org/10.3390/molecules24224182>
- Salovaara, S., Sandberg, A.-S., & Andlid, T. (2002). Organic Acids Influence Iron Uptake in the Human Epithelial Cell Line Caco-2. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6233–6238. <https://doi.org/10.1021/jf0203040>
- Sattar, A., Xie, S., Hafeez, M. A., Wang, X., Hussain, H. I., Iqbal, Z., Pan, Y., Iqbal, M., Shabbir, M. A., & Yuan, Z. (2016). Metabolism and toxicity of arsenicals in mammals. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 48, 214–224.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.10.020>
- Schiener, P., Black, K. D., Stanley, M. S., & Green, D. H. (2015). The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *Journal of Applied Phycology*, 27(1), 363–373.
<https://doi.org/10.1007/s10811-014-0327-1>
- Serra, R., Carpené, E., Marcantonio, A. C., & Isani, G. (1995). Cadmium accumulation and Cd-binding proteins in the bivalve *Scapharca inaequivalvis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 111(2), 165–174.
[https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)00034-L](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)00034-L)
- Sharma, A. K., Tjell, J. Chr., Sloth, J. J., & Holm, P. E. (2014). Review of arsenic contamination, exposure through water and food and low cost mitigation options for rural areas. *Applied Geochemistry*, 41, 11–33. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.11.012>
- Sharp, G., Allard, M., Lewis, A., Semple, R., & Rochefort, G. (2008). The potential for seaweed resource development in subarctic Canada; Nunavik, Ungava Bay. *Nineteenth International Seaweed Symposium*, 8.
- Swaminathan, R. (2003). Magnesium Metabolism and its Disorders. *The Clinical Biochemist Reviews*, 24(2), 47.

- Takatera, K., Miyake, Y., Hiramitsu, M., Inoue, T., & Katagiri, T. (2012). Effects of Citric Acid and Lemon Juice on Iron Absorption and Improvement of Anemia in Iron-Deficient Rats. *Food Science and Technology Research, 18*(1), 127–130.
<https://doi.org/10.3136/fstr.18.127>
- Taylor, V., Goodale, B., Raab, A., Schwerdtle, T., Reimer, K., Conklin, S., Karagas, M. R., & Francesconi, K. A. (2017). Human exposure to organic arsenic species from seafood. *Science of The Total Environment, 580*, 266–282.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113>
- Tolins, M., Ruchirawat, M., & Landrigan, P. (2014). The Developmental Neurotoxicity of Arsenic: Cognitive and Behavioral Consequences of Early Life Exposure. *Annals of Global Health, 80*(4), 303. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.09.005>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science, 70*(3), 493–508.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- Torres-Escribano, S., Ruiz, A., Barrios, L., Vélez, D., & Montoro, R. (2011). Influence of mercury bioaccessibility on exposure assessment associated with consumption of cooked predatory fish in Spain: Effect of cooking on mercury bioaccessibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(6), 981–986. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4241>
- UN-SCN. (2010). *6th report on the world nutrition situation*.
- Valera, B., Muckle, G., Poirier, P., Jacobson, S. W., Jacobson, J. L., & Dewailly, E. (2012). Cardiac autonomic activity and blood pressure among Inuit children exposed to mercury. *NeuroToxicology, 33*(5), 1067–1074. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2012.05.005>
- Wein, E. E., Freeman, M. M. R., & Makus, J. C. (1996). Use of and Preference for Traditional Foods among the Belcher Island Inuit. *ARCTIC, 49*(3), 256–264.
<https://doi.org/10.14430/arctic1201>

World Health Organization. (2019). *Preventing disease through healthy environments. Exposure to cadmium: A major public health concern.*

Yamashita, M., Yamashita, Y., Suzuki, T., Kani, Y., Mizusawa, N., Imamura, S., Takemoto, K., Hara, T., Hossain, Md. A., Yabu, T., & Touhata, K. (2013). Selenoneine, a Novel Selenium-Containing Compound, Mediates Detoxification Mechanisms against Methylmercury Accumulation and Toxicity in Zebrafish Embryo. *Marine Biotechnology*, 15(5), 559–570. <https://doi.org/10.1007/s10126-013-9508-1>

Zwolak, I. (2020). The Role of Selenium in Arsenic and Cadmium Toxicity: An Updated Review of Scientific Literature. *Biological Trace Element Research*, 193(1), 44–63. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01691-w>